



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Tècnica Superior d'Enginyeries  
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

# Diseño, cálculo y fabricación del bastidor para un prototipo de competición

---

## **Ingeniería Industrial**

### Memoria

Autor: Daniel Alcalá Vergara

Tutora: Monserrat Sánchez Romero

Departamento Resistencia de Materiales

Junio 2014







# Agradecimientos

Creo que es justo empezar agradeciendo el trabajo realizado por mis compañeros que forma este maravillosos equipo: MotoSpirit.

También agradecer a Miguel Ángel González que de una forma muy humilde y desinteresada ha conseguido transmitirnos un gran conocimiento en el motociclismo y que creamos en nuestro proyecto.

A mi tutora Montserrat Sánchez que siempre ha apoyado al equipo y se ofreció desde un primer momento a tutorizar el mío en particular.

Por último y no menos importante, a mis familiares y amigos que a pesar de las malas épocas siempre creyeron en el trabajo que estaba realizando.



## Índice

1. Objeto.....	13
2. Alcance.....	14
3. Justificación .....	15
4. Antecedentes.....	16
4.1 MotoStudent .....	16
4.2 MotoSpirit .....	18
5. Estado del arte .....	22
5.1 Bastidores .....	22
5.1.1 Bastidor doble viga .....	23
5.1.2 Bastidor tubular triangulado .....	24
5.2 Estudio de mercado.....	24
5.3 Bastidores fibra de carbono .....	25
5.3.1 Armstrong.....	26
5.3.2 Suzuki Heron.....	26
5.3.3 Britten.....	27
5.3.4 Ducati e Inmotec.....	27
5.3.5 MIR Racing.....	29
5.3.6 Bimota .....	30
5.4 Elementos comunes .....	32
5.4.1 Motor .....	32
5.4.2 Suspensiones .....	32
5.4.3 Llantas.....	33
5.4.4 Frenos .....	34
6. Diseño .....	35
6.1 Geometría .....	35
6.1.1 Distancia entre ejes.....	36
6.1.2 Geometría de la dirección.....	37

6.1.3	Geometría de tracción .....	39
6.2	Centro de gravedad .....	40
6.2.1	Cálculo del centro de gravedad .....	42
6.3	Rigidez del chasis.....	44
6.4	Análisis <i>squat</i> .....	47
6.4.1	Actitud de la motocicleta según el <i>squat</i> .....	48
6.5	Cotas prototipo MotoSpirit .....	51
6.6	Evolución del diseño.....	52
6.6.1	Primer diseño .....	54
6.6.2	Diseños alternativos .....	56
6.7	Diseño definitivo .....	58
6.7.1	Pipa dirección.....	60
6.7.2	Uniones .....	63
6.7.3	Placas traseras.....	66
6.7.4	Motor .....	68
7.	Cálculos.....	69
7.1	Evaluación barras en la pipa de dirección.....	70
7.2	Frenada máxima.....	71
7.2.1	Simulación 2mm de espesor.....	74
7.3	Paso por curva .....	75
8.	Uniones. Ensayos experimentales .....	78
8.1	Insertos de aluminio.....	78
8.1.1	Ensayo a tracción .....	78
8.2	Laminado.....	82
8.2.1	Ensayo a rotura .....	83
9.	Proceso Fabricación .....	89
9.1	Utillaje .....	89
9.2	Bastidor .....	92
10.	Normativa.....	97
11.	Impacto medioambiental .....	98
11.1	Fase de diseño .....	98



11.2	Evaluación ambiental para piezas de fibra de carbono .....	98
11.3	Fase de construcción.....	100
11.3.1	Minimizado de residuos .....	100
11.3.2	Tratamiento de los residuos.....	100
11.4	Fase de explotación.....	101
11.5	Fase de desmantelamiento.....	101
12.	Pliego de condiciones .....	102
12.1	Medidas Generales .....	102
12.2	Vida útil.....	102
12.3	Presupuesto .....	103
12.4	Especificación de elementos .....	103
12.4.1	Elementos fabricados .....	103
12.4.2	Componentes comprados.....	103
12.5	Transporte .....	103
12.6	Materiales.....	103
12.7	Condiciones de montaje .....	104
12.8	Advertencias de seguridad .....	104
13.	Presupuesto.....	105
13.1	Costes horas de trabajo.....	105
13.2	Costes Utillaje.....	106
13.3	Costes Bastidor .....	107
14.	Conclusiones .....	108
15.	Líneas Futuras .....	109
16.	Bibliografía .....	110
16.1	Escrita .....	110
16.2	Páginas web.....	110
16.3	Proyectos .....	110

## Índice Figuras

Figura 1: Segunda edición MotoStudent (2012).....	16
Figura 2: 1ª Curva MotoStudent 2012.....	17

Figura 3: Logo MotoSpirit.....	18
Figura 4: Logo Inspire <sup>3</sup> y ETSEIAT .....	18
Figura 5: Integrantes del equipo .....	19
Figura 6: Organigrama equipo. ....	20
Figura 7: Evolución histórica de chasis .....	22
Figura 8: Moriwaki Moto3 (2013) .....	23
Figura 9: KTM Moto3 2013 .....	24
Figura 10: Cotas KTM mundial Moto3.....	25
Figura 11: chasis Armstrong .....	26
Figura 12: Chasis Suzuki Heron .....	26
Figura 13: Britten V1000 .....	27
Figura 14: Ducati Desmosedici GP09 .....	28
Figura 15: CRT Avintia.....	29
Figura 16: MIR Racing aluminio.....	29
Figura 17: MIR Racing Fibra de Carbono .....	30
Figura 18: Bimota DB6 SuperLight .....	30
Figura 19: Bastidor Bimota DB6 SuperLight.....	31
Figura 20: Motor Sherco SE 250i.....	32
Figura 21: Suspensiones YZF.....	33
Figura 22: Llantas y neumáticos .....	33
Figura 23: Frenos J.Juan .....	34
Figura 24: Geometría básica .....	35
Figura 25: Tensor cadena Kawasaki.....	37
Figura 26: Esquema geometría dirección .....	37
Figura 27: Geometría trasera.....	39
Figura 28: punto pivotamiento.....	40
Figura 29: distribución de peso Kawasaki. ....	41
Figura 30: Centro de gravedad .....	42
Figura 31: desplazamiento lateral debido a la flexión de la horquilla y la rueda .	45
Figura 32: gran brazo de palanca puede causar temblores y rebotes .....	45
Figura 33: desplazamiento lateral rueda trasera debido a la flexión lateral y torsional del chasis. ....	46
Figura 34: Líneas de hundimiento trasero y transferencia de pesos. ....	47
Figura 35: Relación de hundimiento unitaria .....	48
Figura 36: $R > 1$ .....	49
Figura 37: $R < 1$ .....	49
Figura 38: Análisis <i>Squat</i> .....	50
Figura 39: Geometría básica .....	53
Figura 40: Primer diseño vista trimétrico.....	54
Figura 41: Primer diseño; vista lateral.....	54
Figura 42: Estudio primer diseño .....	55

Figura 43: Alternativa 1 .....	56
Figura 44: Alternativa 2 .....	57
Figura 45: Alternativa 3 .....	57
Figura 46: Bastidor definitivo .....	58
Figura 47: Triangulación bastidor .....	59
Figura 48: Sensor y culata .....	59
Figura 49: Parte posterior .....	60
Figura 50: barras juntas .....	61
Figura 51: Barras max. separación .....	61
Figura 52: Distribución final .....	62
Figura 53: Rodamientos cónicos .....	63
Figura 54: Uniones con casquillos .....	64
Figura 55: Casquillo 22mm .....	65
Figura 56: Bastidor final .....	65
Figura 57: Placa triangular .....	66
Figura 58: placa en L .....	67
Figura 59: Placas definitivas .....	68
Figura 60: CAD con admisión .....	68
Figura 61: Puntos de fijación .....	70
Figura 62: 100N configuración inicial .....	70
Figura 63: 100N configuración alternativa .....	71
Figura 64: Frenada máxima Ducati .....	71
Figura 65: Esquema frenada máxima .....	72
Figura 66: simulación pipa 60mm .....	73
Figura 67: simulación pipa 400mm .....	74
Figura 68: Simulación 2mm espesor .....	74
Figura 69: Rossi paso por curva .....	75
Figura 70: Esquema fuerzas paso por curva .....	75
Figura 71: Última curva Alcañiz .....	76
Figura 72: Simulación a flexión .....	77
Figura 73: Esquema insertos .....	78
Figura 74: Plano inserto .....	79
Figura 75: Probeta inserto adhesivado .....	80
Figura 76: Ensayo .....	80
Figura 77: Pinza de ensayo .....	81
Figura 78: Gráfica primer ensayo .....	81
Figura 79: Ensayo soldadura sobrecalentada .....	82
Figura 80: Rotura ensayo .....	82
Figura 81: Pipa de aluminio laminada .....	84
Figura 82: Masilla microesferas .....	84
Figura 83: Laminación .....	85

Figura 84: Proceso de vacío .....	85
Figura 85: Ensayo a rotura unión simple .....	86
Figura 86: Ensayo a rotura unión doble .....	87
Figura 87: Gráfica Fuerza Paralela .....	87
Figura 88: Gráfica Fuerza Perpendicular .....	88
Figura 89: Utillaje .....	89
Figura 90: Uniones .....	90
Figura 91: Soldadura utillaje .....	91
Figura 92: Utillaje acabado .....	91
Figura 93: Numeración barras. ....	92
Figura 94; numeración insertos.....	93
Figura 95: Posicionamiento barras 1 y 4.....	94
Figura 96: Posicionamiento barras 2.....	95
Figura 97: Posicionamiento barras 3 y 5.....	95
Figura 98: cotas generales .....	102

## Índice de Tablas

Tabla 1: Puntuación MS1 .....	16
Tabla 2: Puntuación MS2.....	17
Tabla 3: Neumáticos .....	33
Tabla 4: Características frenos .....	34
Tabla 5: Resumen geometría.....	51
Tabla 6: Resumen fuerzas .....	73
Tabla 7: costes horas de trabajo.....	105
Tabla 8: Costes Utillaje .....	106
Tabla 9: Costes Bastidor.....	107

## 1. Objeto

El objeto de este proyecto es realizar el diseño, calculo estructural y proceso de fabricación de un bastidor de una motocicleta de 250c.c. de 4 tiempos que participará en el certamen MotoStudent, considerando todos los aspectos técnicos, funcionales y de normativa que permitan un óptimo montaje y comportamiento del prototipo.

## 2. Alcance

En el diseño del bastidor se definirá la geometría general, la ubicación de los elementos auxiliares y el material que se utilizará. También se diseñarán las diferentes uniones con motor, horquilla, basculante y subchasis, realizando prototipos y ensayándolos experimentalmente. No entra dentro del alcance la definición de la tornillería utilizada.

Se realizará las simulaciones por elementos finitos con el programa SolidWorks, obteniendo la resistencia y rigidez del mismo. Queda fuera del alcance de este proyecto el estudio de los esfuerzos dinámicos.

Por último se explicará el proceso de fabricación, definiendo cual será el utillaje que se utilizará y la secuencia de fabricación. Por falta de tiempo y retrasos en la entrega de los materiales, es posible que el bastidor no esté fabricado en el momento de la presentación del proyecto.

### 3. Justificación

Con el objetivo de participar en la tercera edición de la competición MotoStudent el equipo MotoSpirit se encuentra con la necesidad de diseñar, fabricar y testar una motocicleta de competición.

Debido a que es la primera vez que la universidad participa en este certamen, no hay una base sobre la que trabajar, por lo que se diseña por completo todo el chasis, en este proyecto se trabajará de forma específica el bastidor.

Todas las decisiones y soluciones técnicas adoptadas a lo largo del proyecto, son fruto del estudio de todos los problemas y con el objetivo de encontrar un diseño que optimice el comportamiento del prototipo cumpliendo la normativa y ajustando los costes.

Todo el material utilizado en este proyecto ha sido generado por el equipo MotoSpirit, especialmente por el departamento de bastidor del que formo parte junto a Toni Martí.

## 4. Antecedentes

### 4.1 MotoStudent



Figura 1: Segunda edición MotoStudent (2012)

MotoStudent es una competición universitaria a nivel mundial, promovida por MEF (Moto Engineering Foundation), que tiene como objetivo desarrollar, construir y testar el prototipo de una motocicleta de competición de 250cc 4T (Moto3). En ella, ingenieros de las diferentes facultades compiten elaborando un proyecto de ingeniería que será evaluado desde el punto de vista industrial (coste, diseño, innovación), técnico (seguridad, funcionalidad, performance) y competitivo (carrera en circuito).

Uno de los propósitos de MotoStudent es que cada ingeniero se considere integrado en una empresa fabricante de motos para desarrollar y fabricar un prototipo bajo unos condicionantes técnicos y económicos

Para evaluar todos estos aspectos, la competición está dividida en dos fases en las cuales se puntúan y se premian diferentes aspectos.

- La primera fase es demostrativa, en la que los equipos presentan un proyecto industrial para la fabricación en serie basada en el prototipo construido. El proyecto se basa en el diseño, desarrollo y fabricación de una moto de competición para circuito de velocidad. El proyecto será expuesto por miembros del equipo ante un tribunal formado por especialistas de diferentes sectores.

Tabla 1: Puntuación MS1

Presentación	Aspecto	Puntuación
<b>Diseño e innovación</b>	A. Diseño del vehículo	75
	B- Análisis y cálculos técnicos	125
	C. Proyecto de Innovación Tecnológica	100
<b>Industrialización</b>	D. Defición del sistema de fabricación e industrialización	125



E. Análisis de costes del desarrollo y proceso industrial de fabricación en serie.	75
<b>Total</b>	<b>500</b>

- La segunda fase, a parte de una prueba en box de desmontaje y montaje del prototipo, consta de pruebas dinámicas realizadas por el piloto designado por el equipo y una carrera en el circuito de velocidad de Motorland Aragón.

Tabla 2: Puntuación MS2

Categoría	Sesión	Prueba	Puntuación
Pruebas dinámicas	Pruebas en pista	1, Prueba de frenado	60
		2. Gymkhana	100
		3. Prueba de aceleración	60
	Pruebas en box	4. Prueba mecánica	30
Carrera	entrenamientos libres	5. Vmax en speed trap	30
	Entrenamientos cronometrados	6. Pole position	40
	Carrera	7. Vuelta rápida en carrera	30
		8.- Posición en carrera	150
		Total	



Figura 2: 1ª Curva MotoStudent 2012

En Marzo de 2013 empezó la III edición de MotoStudent que finaliza en Octubre de 2014, donde los más de 30 equipos de 6 nacionalidades pondrán a prueba sus prototipos en el circuito de Motorland Aragón (Alcañiz).

## 4.2 MotoSpirit



Figura 3: Logo MotoSpirit.

MotoSpirit nace en noviembre del 2012 con el objetivo de representar por primera vez a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y Aeronáutica de Terrassa (ETSEIAT) de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) en el certamen MotoStudent.

Finalmente fuimos 8 los estudiantes interesados en la participación y formación del equipo. Desde el principio, el proyecto ha estado tutorizado por Miguel Ángel González, profesor docente e investigador del departamento de resistencia de materiales de la propia escuela. A parte de ser el responsable del grupo, dispone de grandes conocimientos del sector del motociclismo, impartiéndonos así un Master en Dinámica de la Motocicleta y asesorándonos a lo largo de la evolución del proyecto.

La universidad ha respaldado el proyecto a través del programa INSPIRE<sup>3</sup>, también nos han apoyado el departamento de resistencia de materiales e INTEXTER. Por otra parte, la viabilidad del prototipo ha sido posible por la colaboración de empresas privadas, de todo tipo de sectores, que han ayudado ya sea aportando material, espacios, asesoramiento o maquinaria.



Figura 4: Logo Inspire<sup>3</sup> y ETSEIAT

El programa INSPIRE3 es una iniciativa enfocada a grupos de estudiantes para la realización de proyectos de ingeniería innovadores y reales que suponen una nueva experiencia educativa fuera de las aulas.

Los 8 estudiantes integrantes del equipo, de diferentes especialidades, somos: (en la Figura 5 de arriba abajo y de izquierda a derecha): Sergi Gusi, Eduard Reig, Maria Turrà, Miguel Ángel Gonzalez (tutor), Gemma Solé, Santiago Aparicio, Daniel Alcalá, Toni Martí y David Jiménez.



Figura 5: Integrantes del equipo

El equipo MotoSpirit sigue una estructura horizontal, a pesar de trabajar conjuntamente cada departamento es independiente del resto y ningún miembro del equipo tiene un peso específico superior a otro. Gracias a la metodología de trabajo, las plataformas utilizadas y las reuniones periódicas (semanales) todos los miembros del equipo conocen cual es estado del resto de departamentos y permite participar de forma activa en la toma de las decisiones más trascendentales.

Se diferencian básicamente dos tipos de departamentos: los técnicos y los organizativos. Todos los miembros del equipo participan en ambos tipos, esto permite aumentar así nuestro aprendizaje participando en el diseño, fabricación e industrialización así como las necesidades que conlleva dirigir una estructura similar a una empresa.

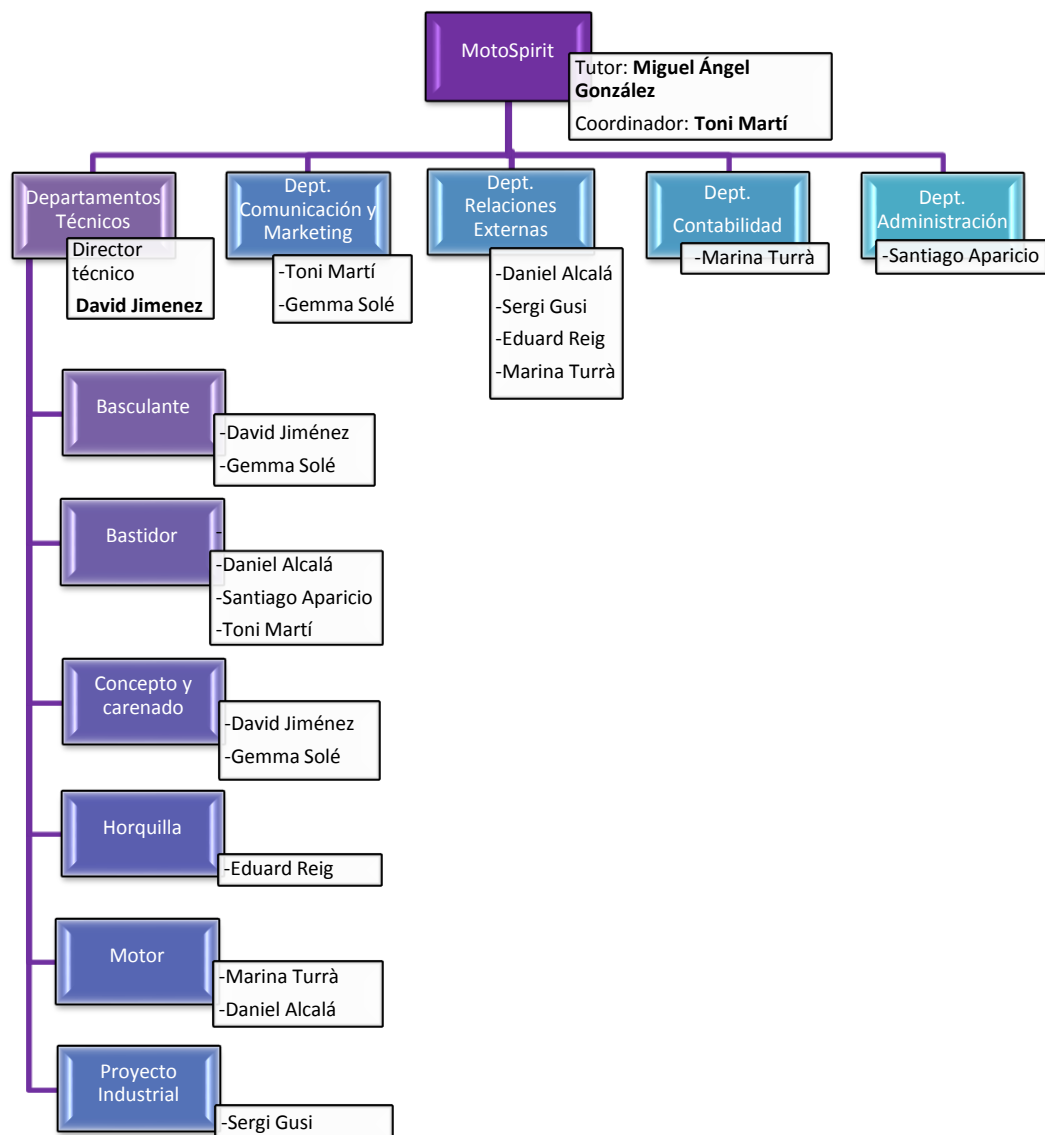


Figura 6: Organigrama equipo.

Particularmente pertenezco a tres departamentos, por un lado a los departamentos técnicos de Bastidor y Motor y, por otro, al departamento de Relaciones Externas.

En el primero de ellos, donde se genera todo el trabajo reflejado a lo largo de esta memoria, junto a Toni Martí y Santiago Aparicio nos encargamos del diseño, validación y fabricación del bastidor. Debemos cumplir todos los requisitos para su óptimo funcionamiento así como los requisitos exigidos por la organización del evento.

Junto a Marina Turrà formamos el departamento de Motor. La organización proporciona un motor de 250cc y 4Tiempos donde están precintados el cárter y

la culata. En este caso nos encargamos de desarrollar el resto de elementos, que se resumen en tres aspectos: admisión (ram air y airbox), escape y gestión electrónica. Debido a que todos los participantes usamos el mismo motor y la distribución esta precintada, cualquier aumento de potencia, por pequeño que sea, puede suponer una ventaja considerable.

Por último, dejando aparte los aspectos técnicos, junto a Sergi Gusi, Eduard Reig y Marina Turrà formamos el departamento de Relaciones Externas. En este caso nos encargamos de la mayoría de contactos con entidades externas a la universidad, principalmente empresas privadas. Se gestionan todas las fases de colaboración, desde su búsqueda hasta la confirmación de esta, así como el mantenimiento del contacto informándole de forma periódica de los avances del proyecto.

## 5. Estado del arte

### 5.1 Bastidores

El chasis es el conjunto formado por ruedas, horquilla delantera, frenos, bastidor y basculante que constituye la estructura básica donde van ensamblados el resto de componentes que constituyen la motocicleta. Concretamente el bastidor es el elemento principal que une horquilla de dirección y basculante y donde están alojados el motor, depósito y subchasis.

Por una parte, el chasis debe soportar los esfuerzos estáticos, es decir, debe aguantar el peso propio de la moto (chasis, motor y elementos auxiliares) y del piloto y acompañante si lo hubiere. Por otra parte el chasis también ha de resistir los esfuerzos producidos durante el movimiento proporcionando así agilidad, agarre y confort.

Es necesaria una alta rigidez y resistencia a los esfuerzos de compresión, torsión y flexión producidos principalmente por las frenadas, las fuerzas de transmisión y los baches, garantizando así una mínima deformación y una mínima variación de su geometría.

Debido a la gran cantidad de variables a tener en cuenta en el diseño de un bastidor, a lo largo de la historia han sido muchas las soluciones adoptadas para cubrir las necesidades.

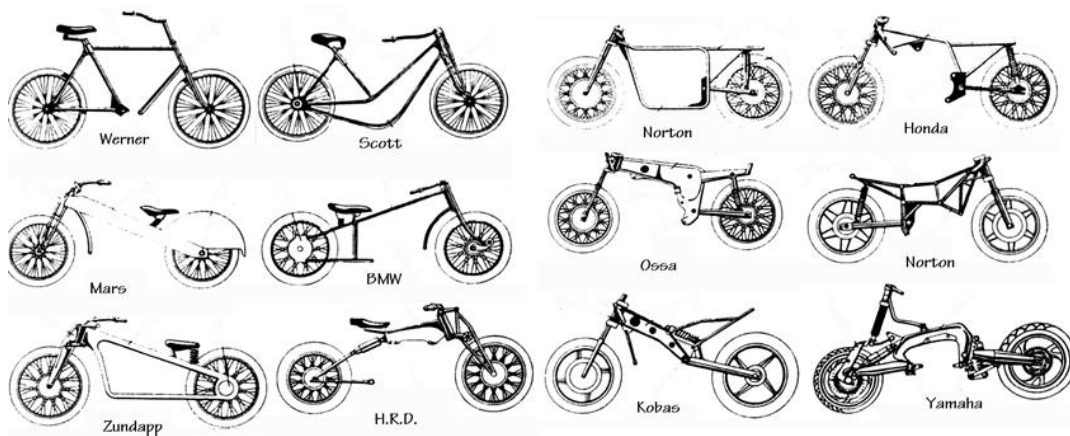


Figura 7: Evolución histórica de chasis

A continuación se realizará una breve explicación de las dos soluciones más utilizadas para el bastidor en el mundo de la competición: doble viga y chasis tubular triangulado.



### 5.1.1 Bastidor doble viga

Actualmente es la solución más aplicada en el mundo de la competición. Este chasis se compone de dos vigas de sección rectangular, generalmente de aluminio, que forman una pieza única que une horquilla delantera y basculante.

La principal ventaja de este tipo de bastidor es que da libertad absoluta al diseñador en cuanto a formas y así proporciona más alternativas para conseguir una cohesión de todos los componentes de la motocicleta. Por otra parte, también permite cambiar rigideces, de forma sencilla, aportando material en las zonas deseadas, este aspecto es especialmente útil cuando se está simulando el comportamiento del mismo.



Figura 8: Moriwaki Moto3 (2013)

Por otra parte, cuando se trabaja con metales, hay diferentes soluciones constructivas válidas en función de los recursos, desde la fundición hasta el mecanizado. Como norma general, la zona de la pipa de dirección y los soportes traseros así como la unión con el basculante se realizan en fundición y posteriormente se sueldan a las vigas, generando así un bastidor en una única pieza.

También se han utilizado otros materiales en su fabricación como acero o fibra de carbono. En el primer caso del acero los bastidores eran demasiado pesados, y con la fibra de carbono, a pesar que se obtienen chasis ligeros y rígidos, para cualquier modificación se ha de realizar un molde nuevo, factor que aumenta los costes de fabricación.

### 5.1.2 Bastidor tubular triangulado

Otras de las soluciones a las que se recurre a menudo en competición es el bastidor tubular triangulado. Generalmente realizado en acero, se compone de la triangulación de tubos que constituyen la estructura principal de la motocicleta.

La ventaja principal de esta solución es la facilidad en la fabricación y sus costes reducidos. A pesar de que se pueden utilizar tubos de varias longitudes y espesores el coste de estos es menor al aluminio del doble viga, y es fácil encontrar personal capacitado para soldarlo. En caso de querer variar la rigidez en algún punto del bastidor se pueden soldar refuerzos en la zona deseada.

A menudo se utilizan placas de aluminio en la parte posterior del chasis para facilitar la unión con el motor y basculantes así como la fijación de elementos tales como estribas o subchasis.

El material más común es el acero, gracias a la gran resistencia (permitiendo espesores y diámetros reducidos) y el hecho de que sean pequeños no generan bastidores especialmente pesados.



Figura 9: KTM Moto3 2013

## 5.2 Estudio de mercado

El primer paso en cualquier proyecto de desarrollo es saber cómo se encuentra el estado actual del mercado. Se realizó el estudio de las tres motocicletas de competición que más se asemejaban a la nuestra y estaban delante en el mundial de motociclismo en la categoría Moto3.



Se realizó ingeniería inversa a partir de fotografías de dichos modelos. Sobre ellas se sacaron las cotas principales de su geometría, obteniendo así unos datos iniciales a modo orientativo para el proceso de diseño.

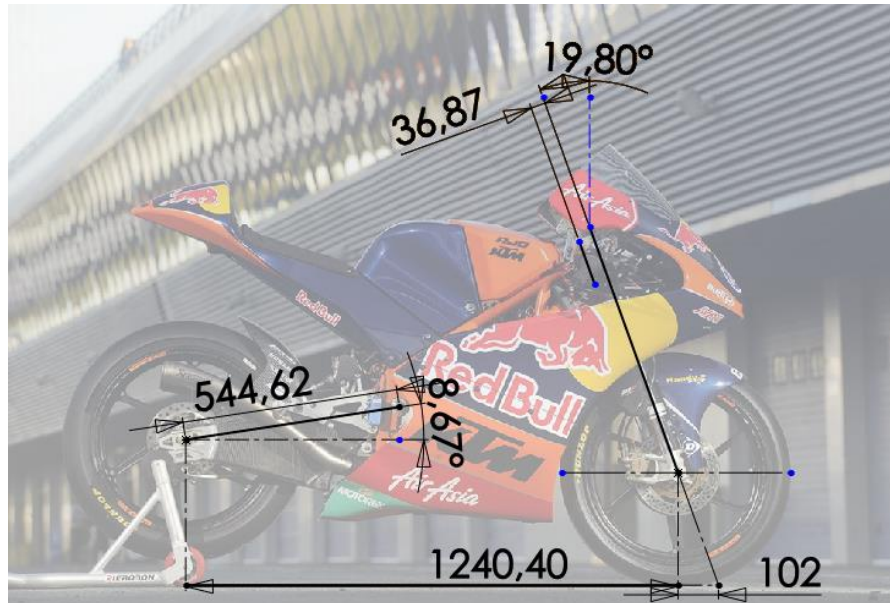


Figura 10: Cotas KTM mundial Moto3

También se realizó el estudio de las cotas de la Honda y la Mahindra. También el plano de la KTM de 250cm<sup>3</sup> de 2T que participó en las últimas ediciones de esa categoría.

### 5.3 Bastidores fibra de carbono

A diferencia de otros sectores como el automovilístico o aeronáutico, en el motociclismo, la fibra de carbono no ha tenido un peso específico importante.

Se han presentado varias propuestas a lo largo de los años pero por diferentes motivos no han triunfado o no han gozado de la continuidad necesaria. Pueden ser varias las razones que han ocasionado estas situaciones, una de ellas, seguramente la principal, es que las sensaciones percibidas por el piloto son diferentes a las que tiene cuando pilota una moto con un chasis en acero o aluminio.

A pesar de ser un material con unas propiedades mecánicas y una ligereza excepcionales, dispone de un módulo elástico muy elevado hecho que no permite su deformación (flexión) al contrario que el resto de materiales que generalmente se utilizan.

Aunque existen muchos proyectos donde la fibra de carbono era el material principal del chasis, todos ellos han sido prototipos, generalmente de

competición, y ninguno ha llegado a producirse en serie. Por este motivo, es poca la información que se puede obtener en comparación con el resto.

### 5.3.1 Armstrong



Figura 11: chasis Armstrong

En la década de los 80, la marca británica Armstrong diseñó este chasis en fibra de carbono para sus motores Rotax de 250 y 300cc.

Se puede observar la simplicidad del bastidor, presentando un doble viga muy estrecho y ligero (perfil rectangular abierto) donde el motor realiza una función importante y da alojamiento al punto de pivotamiento y el anclaje de la suspensión. Como curiosidad, la suspensión va anclada por un único punto y se localiza, junto al motor, en una ubicación inferior a la habitual, hecho que también baja el centro de masas.

### 5.3.2 Suzuki Heron

A principios de los años 90, Suzuki desarrolló el modelo Heron de competición para el mundial de 500cc, en el que corrían con pilotos como Kevin Schwantz, pero nunca llegó a debutar.



Figura 12: Chasis Suzuki Heron

### 5.3.3 Britten

A principios de la década de los 90, el ingeniero Neozelandés John Britten diseñó la Britten V1000, una motocicleta innovadora en varios aspectos.

Dotada de un gran y robusto motor en V de 1000cc que actuaba como elemento estructural, disponía de un pequeño bastidor monocasco en fibra de carbono. Otros aspectos que caracterizaban a la Britten eran el posicionamiento en el motor del punto de pivotamiento del basculante, la situación en la parte delantera de la amortiguación trasera y la suspensión delantera de doble paralelogramo tipo Hossack. El proyecto finalizó en 1995 por la muerte de John Britten.



Figura 13: Britten V1000

### 5.3.4 Ducati e Inmotec

Más recientes son estos casos, donde también se ha utilizado la fibra de carbono en la categoría reina de mundial de MotoGP.

En el caso de Ducati, en el año 2009 el concepto de la Desmosedici GP09 es parecido al que presentaba Britten en su prototipo. El motor, también en V, era el principal elemento estructural que unía por un lado un bastidor monocasco y por otro el basculante, ambos realizados en fibra de carbono.





Figura 14: Ducati Desmosedici GP09

Inmotec es una empresa navarra que se dedica al diseño y fabricación de chasis de competición para las categorías de Moto2 y MotoGP. En el año 2010 produjeron el primer bastidor en fibra de carbono que participaría en el Campeonato de España de Velocidad (CEV).

Los chasis en fibra de carbono de Inmotec, que son iguales conceptualmente en Moto2 y MotoGP, presentan un doble viga que en su parte delantera es de fibra de carbono y en la parte trasera se utiliza el aluminio. Ambos materiales proporcionan ligereza y rigidez elevadas con la ventaja de que el aluminio facilita la unión con el resto de elementos como pueden ser basculante o subchasis.



Figura 15: CRT Avintia

### 5.3.5 MIR Racing

MIR Racing es una pequeña empresa valencia que diseña y fabrica chasis para motocicleta de competición principalmente de pequeña cilindrada.

Para competir en el CEV desarrollaron un bastidor en doble viga y basculante, ambos en aluminio que posteriormente realizaron en fibra de carbono, llegando a reducir el peso en más de 2kg.



Figura 16: MIR Racing aluminio





Figura 17: MIR Racing Fibra de Carbono

### 5.3.6 Bimota

La Bimota BB6 Delirio Superlight es la única motocicleta del mercado (tanto de calle como de competición) que se conoce que se haya utilizado un chasis tubular en fibra de carbono (solución adoptada por MotoSpirit que se desarrollará en los siguientes apartados).



Figura 18: Bimota DB6 SuperLight

El fabricante italiano Bimota en colaboración con BR Bikerresearch, en 2010 desarrolló este prototipo que presenta un chasis tubular de fibra de carbono atornillado a placas laterales de aleación de aluminio. Presenta un motor Ducati bicilíndrico en V a 90° con refrigeración aire/aceite de 1078 cc donde gracias a la fibra se consigue un peso en seco de 158 kg, muy inferior a los 177kg que pesa la DB6 Delirio.



Figura 19: Bastidor Bimota DB6 SuperLight

Debido a la escasa información proporcionada por Bimota se desconoce las soluciones adoptadas en las diferentes uniones tanto de bastidor como de basculante, pero en las imágenes se observa un acabado redondeado posiblemente causado por la sobrelaminación en cada una de ellas.

## 5.4 Elementos comunes

Desde la organización de MotoStudent se proporcionan una serie de elementos comunes que se han de utilizar de forma obligatoria. Se realizará una breve explicación de cada uno de ellos puesto que algunos tienen una gran repercusión en el diseño del bastidor.

### 5.4.1 Motor

En la tercera edición de MotoStudent a los equipos participantes se les suministra un motor Sherco de 250cc y 4T que proviene del enduro.

#### MOTOR SHERCO SE 250i: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Tipo 4 tiempos de 1 cilindro con líquido refrigerante
- Cilindrada: 249.4 CC
- Diámetro/Carrera: 78/52mm
- Relación de compresión: 12.6 :1
- Gasolina Súper, sin plomo, con índice de octanos mínimo de 95
- Distribución: 4 válvulas, DOHC, mando por cadena
- Transmisión primaria: (21 :70)
- Transmisión secundaria: 13X48
- Embrague: Multidisco en baño de aceite comanda hidráulica
- Sistema de arranque/batería: Arranque eléctrico/12V 6.5 Ah
- Inyección electrónica: Magneti Marelli



Figura 20: Motor Sherco SE 250i

### 5.4.2 Suspensiones

Las suspensiones tanto delanteras como traseras son las utilizadas por Yamaha en su modelo de calle YZF 125r.

La suspensión delantera es una horquilla telescópica convencional con una longitud máxima de 748mm y un recorrido libre de 130mm.

La suspensión trasera se compone de amortiguador y muelle. Con una longitud de 268mm y un recorrido útil de 50mm.





Figura 21: Suspensions YZF

#### 5.4.3 Llantas

Las llantas del mismo modo que las suspensiones son las de la Yamaha YZF 125r. Son unas llantas de aluminio de 17 pulgadas.

Los neumáticos que se utilizarán son slicks de la marca Dunlop y las siguientes características:

Tabla 3: Neumáticos

Posición	Medida	Modelo	Presión en frío	Presión de trabajo	Diámetro
<b>Delantera</b>	95/70R17	KR149	1,7 - 1,8	2,0 - 2,2	576
<b>Trasera</b>	115/70R17	KR133	1,8 - 1,9	2,1 - 2,5	601,3



Figura 22: Llantas y neumáticos

#### 5.4.4 Frenos

Las pinzas de freno utilizadas en la competición MotoStudent, las proporciona la empresa J.JUAN y es una pinza fija delantera y una flotante trasera con las siguientes características:



Figura 23: Frenos J.Juan

Tabla 4: Características frenos

<i>Tipo:</i>	Radial 2P Delantera	<i>Tipo:</i>	Flotante 1P Trasera
<b>Nº Pistones:</b>	4	<b>Nº Pistones:</b>	1
<b>Ø Pistones:</b>	Ø25 a Ø27	<b>Ø Pistones:</b>	Ø30 a Ø34
<b>Anclaje:</b>	Radial	<b>Soporte:</b>	Soporte de Acero

## 6. Diseño

La realización del diseño de un bastidor de motocicleta es sumamente complicado debido a que son muchas las variables que hay que tener en cuenta en su definición y estas son difíciles de medir y cuantificar.

Históricamente han sido muchos los que han intentado prever como influye el piloto en el comportamiento de la motocicleta intentando simular sus movimientos o estudiando un gran número de casuísticas estáticas. El resultado final de todos los estudios ha permitido obtener una nube de parámetros, los cuales de forma empírica, se sabe que son los que optimizan el comportamiento de los chasis.

### 6.1 Geometría

El primer paso a realizar en el diseño de un chasis es la definición general de la geometría. Cuando se realiza el estudio cinemático de un motocicleta, esta se considera un cuerpo rígido, es decir, sin suspensiones y con ruedas no deformables.

Los parámetros principales de una motocicleta son:

- Distancia entre ejes
- Excentricidad de la horquilla (*Offset*)
- Ángulo de dirección
- Avance
- Radio rueda trasera
- Radio rueda delantera
- Longitud basculante
- Ángulo del basculante

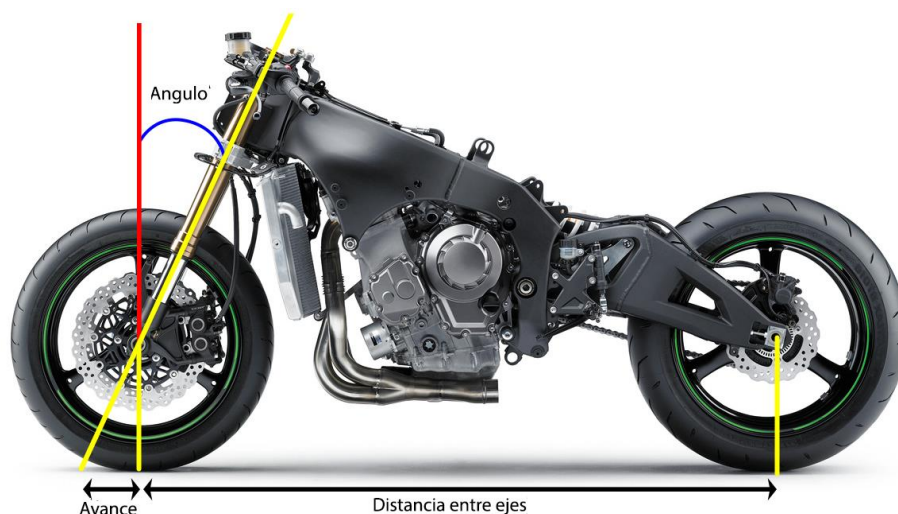


Figura 24: Geometría básica

Es muy difícil aislar un único aspecto y analizarlo, puesto que todos interaccionan e influyen sobre el resto, siendo el conjunto de la motocicleta lo que determinará el comportamiento de la misma.

A continuación se realizará una breve explicación de cada una de las cotas así como valores de referencia para motocicletas semejantes a la que se fabricará.

**Todos los datos ofrecidos hacen referencia a una motocicleta en estático únicamente aplicando la fuerza de la gravedad (1G).**

#### 6.1.1 Distancia entre ejes.

La distancia entre ejes es la distancia entre los puntos de contacto de los neumáticos que coincide con los centros de la ruedas cuando la dirección está en línea recta.

La distancia entre ejes varía en función de la aplicación de la motocicleta. Para determinar su valor se ha de tener en cuenta:

- El círculo mínimo de rotación.
- Movimientos de cabeceo: El ángulo de cabeceo disminuye con distancias entre ejes mayores, dotando así a la motocicleta de mayor estabilidad impidiendo el despegue de las ruedas.
- Trazada de curva: En este caso una distancia entre ejes elevada conlleva la aplicación de un par superior sobre la dirección en la entrada a curva.
- Transferencia de pesos: Una mayor distancia entre ejes disminuye la transferencia de pesos en frenada.
- Si se aumenta la distancia entre ejes, se pierde agilidad en los cambios de dirección debido a que las ruedas se encuentran en los extremos de los ejes.
- Una distancia larga incrementa la deformación flexional y torsional del bastidor, es decir, disminuye su rigidez.

En el caso de las motocicletas de competición de baja cilindrada, la distancia entre ejes podría variar de 1200 a 1280mm. Esta distancia es ajustable, a través del tensor de cadena, entre 20 y 40mm permitiendo así, aparte de variar el comportamiento dinámico, acomodar las variaciones del piñón de ataque y de la tensión de la cadena.



Figura 25: Tensor cadena Kawasaki

### 6.1.2 Geometría de la dirección

El ángulo de dirección y el avance son especialmente importantes debido a que, junto con la excentricidad, son los que definen la geometría de la dirección, y en consecuencia, maniobrabilidad y estabilidad dependen en gran parte de ellos.

La elección de los tres es un compromiso que debe tomarse en función del uso de la motocicleta y es conveniente que sean ajustables.

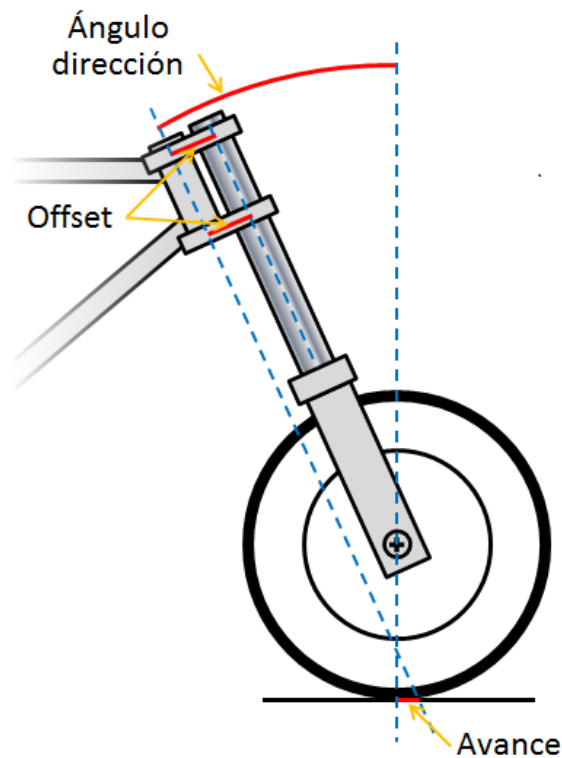


Figura 26: Esquema geometría dirección

## Ángulo de dirección

El ángulo de dirección es el formado por el eje de dirección con la vertical, algunas veces el ángulo de dirección también se da como el formado por el eje de dirección y la horizontal.

Prácticamente en todos los casos el eje de dirección es totalmente paralelo a la horquilla delantera. Independientemente de la cilindrada, los ángulos de dirección de una motocicleta de competición oscilan entre los 22° y los 25°.

## Avance

El avance es la distancia horizontal desde el punto de contacto del neumático con la superficie hasta el punto de intersección de la superficie con la prolongación del eje de la dirección.

En condiciones estáticas es fácil de medir puesto que el punto de contacto del neumático coincide con la vertical del eje de la rueda. Bajo condiciones dinámicas esta medición se dificulta puesto que varía de forma continua.

El objetivo principal del avance es aumentar la estabilidad la dirección. A priori, se podría pensar que es mejor una distancia grande de avance, pero se acabaría teniendo una dirección pesada y poco ágil.

En competición el avance oscila entre 85 y 100mm. A pesar de su variación es uno de los parámetros más influyentes en el comportamiento de la dirección.

## Excentricidad

La excentricidad u *offset* es la distancia entre el eje de dirección y la línea paralela que pasa por el eje de la rueda delantera. Puede coincidir con la distancia entre el eje de dirección y el eje de la horquilla cuando esta esté centrada con el eje de la rueda.

Si la horquilla está centrada con el eje de la rueda la excentricidad estará producida únicamente por las pletinas. Las pletinas son un buen método para variar el avance sin variar el ángulo de dirección.

De forma contraria al ángulo del dirección o el avance, la excentricidad no tiene unas medidas muy establecidas pero generalmente oscila entre 25 y 30 mm.

### 6.1.3 Geometría de tracción

#### Basculante

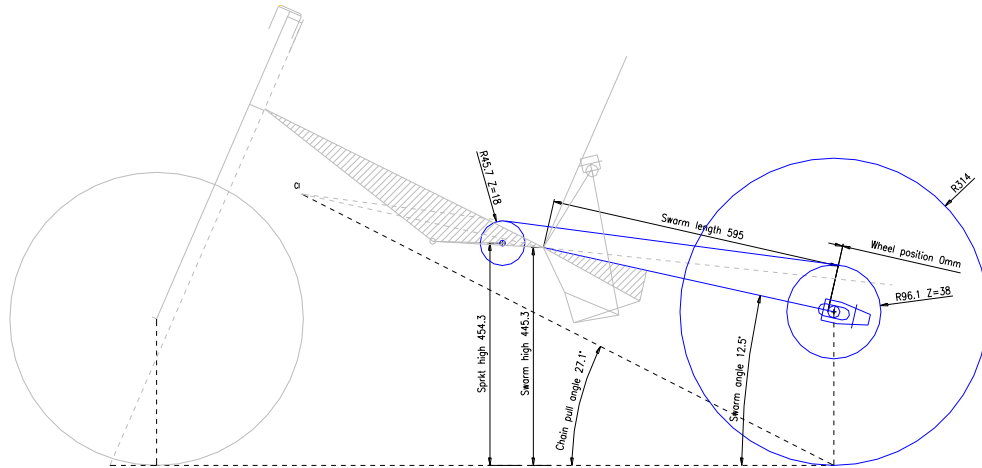


Figura 27: Geometría trasera

El uso del basculante en el tren trasero de la motocicleta es la práctica más utilizada en la actualidad, presenta ciertas deficiencias pero, al contrario que la geometría delantera, representa una solución simple y efectiva que raramente da problemas que no se puedan solventar.

La geometría del basculante puede jugar un papel muy significativo en el comportamiento de la motocicleta, pues ésta puede tener tendencia a comprimir o extender la suspensión trasera cuando se aplica potencia a la rueda trasera. Estos efectos, comúnmente llamados "*anti-squat*" y "*pro-squat*" (apartado 6.4), tienen una influencia considerable en la tracción y son la razón para el incremento de los ajustes de pivotamiento del basculante. Lo primero que tenemos que considerar es la geometría del basculante y de la cadena, junto con el piñón de ataque y corona.

En competición la longitud del basculante se mueve en torno a los 515mm.

#### Punto de pivotamiento

El punto de pivotamiento del basculante debe estar lo más cerca posible al piñón de ataque (ya que la posición ideal es aquella en la que el eje de pivotamiento del basculante es concéntrico al eje del piñón de ataque, es decir, basculante y piñón son concéntricos).



La inclinación del brazo del basculante varía según la suspensión trasera se comprime. Las motocicletas se comprimen entre 7 y 15 mm. Esta compresión tiene que ser tenida en cuenta en la fase de diseño. Por simplicidad, el basculantes se suele inclinar entre  $5^\circ$  y  $15^\circ$  por debajo de la horizontal. La posición del motor puede alterar, por tanto, mucho la geometría del basculante.

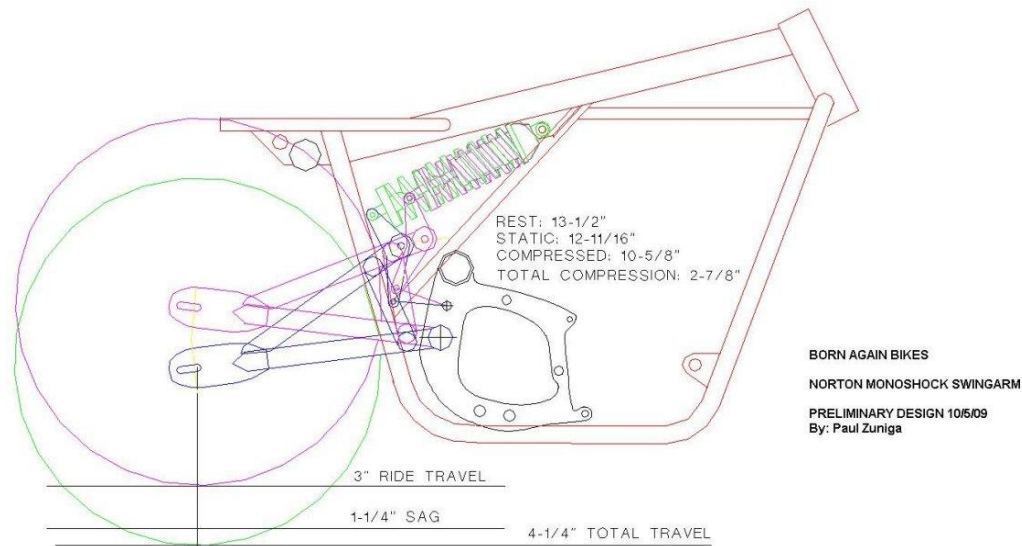


Figura 28: punto pivotamiento

Escoger adecuadamente el punto de pivotamiento es fundamental. La primera consideración en cuanto a la cadena consiste en que ésta está sometida a una variación de tensión con el movimiento del basculante. El punto de tensión máxima es aquel en el que la prolongación del eje del basculante pasa por el eje (o centro) del piñón de ataque. De ser el basculante coaxial al piñón de ataque (posición ideal), no habría variación de tensión en la cadena.

Respetando la distancia entre ejes, es conveniente usar un basculante el largo, ya que suele mejorar la tracción puesto que su angularidad (ángulo con la horizontal) será menor.

## 6.2 Centro de gravedad

Uno de los aspectos más importantes en el diseño de una motocicleta es la manera en que se distribuye el peso. Esta distribución controla muchos aspectos del rendimiento dinámico de la máquina.

La distribución de peso (en sus tres dimensiones) viene determinada por la localización de las distintas partes, especialmente las más pesadas, como el motor, depósito de combustible, horquilla, ruedas y piloto. El resultado total se define por la localización del centro de gravedad.

Son de especial importancia las localizaciones de:



- Motor.
- Cigüeñal.
- Piloto.
- Depósito combustible.
- Distribución de partes auxiliares.

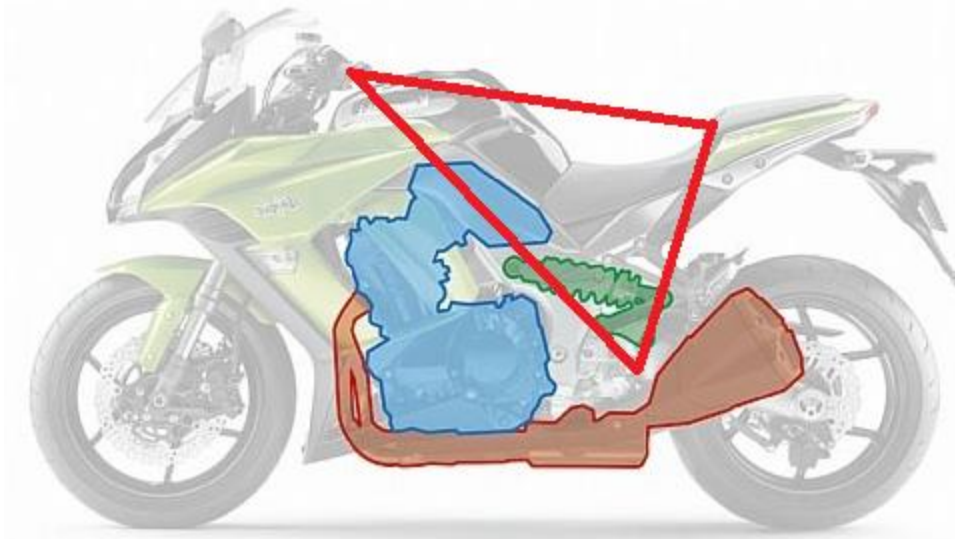


Figura 29: distribución de peso Kawasaki.

En cuanto a la posición del piloto, el triángulo rojo marca la posición de las manos, del reposapiés y del apoyo trasero en el colín. El punto que acotamos justo por debajo del vértice superior es el apoyo en el asiento.

Pequeños cambios en la localización del centro de gravedad a menudo nos llevan a mejoras significativas en la manejabilidad, tracción y aceleración de la motocicleta.

Los requerimientos básicos que debemos cumplir son cuatro:

- Todos los componentes tienen que tener una localización físicamente aceptable.
- El piloto ha de situarse en una posición mínimamente confortable que reduzca la resistencia aerodinámica.
- El centro de gravedad debe situarse en una posición óptima. De otro modo se reducirán las prestaciones en aceleración y frenada. También experimentaremos problemas de manejabilidad.
- La geometría del basculante debe ser aceptable y no debe tener excesiva tendencia *pro-squat* o *anti-squat*.

Otro aspecto muy importante relacionado con el centro de gravedad es la posibilidad de reducir momentos de inercia por medio de la centralización de masas. A pesar de que el centro de gravedad se encuentre en el punto óptimo, si las masas no se encuentran debidamente posicionadas (por ejemplo situadas de forma igual entre ambas ruedas), se obtendría una respuesta dinámica de la moto pésima debido a las inercias causadas por las masas no suspendidas.

La mejor manera, pero imposible (aunque mejor cuanto más nos acerquemos a ella), resultaría en una masa no suspendida nula y toda la masa concentrada en el centro de gravedad. De esta manera tendríamos una motocicleta muy ágil con un comportamiento dinámico perfecto.

### 6.2.1 Cálculo del centro de gravedad

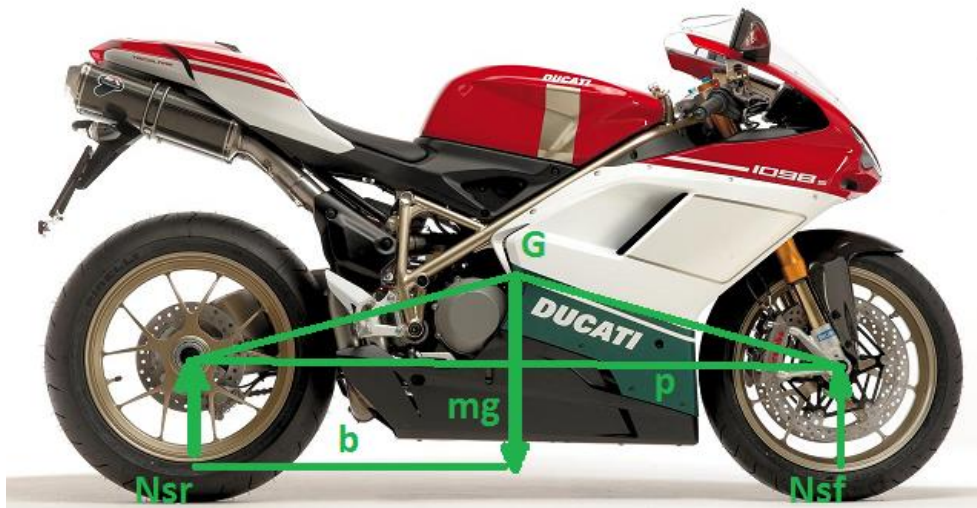


Figura 30: Centro de gravedad

La distancia longitudinal  $b$  entre el punto de contacto de la rueda trasera y el centro de gravedad puede ser determinada fácilmente midiendo la masa total de la motocicleta y las cargas en las ruedas en condiciones estáticas ( $N_{sf}$  y  $N_{sr}$ ):

$$b = N_{sf} \cdot p / (mg) = p - (N_{sr} \cdot p) / (mg)$$

Una motocicleta se caracteriza, en general, por su distribución de pesos, expresada en porcentaje:

$$\% \text{ frontal} / \% \text{ trasero} = (N_{sf} / mg) / (N_{sr} / mg) = (b/p) / [(p-b)/p]$$

La distribución de peso en las ruedas bajo condiciones estáticas carga generalmente un poco más la rueda delantera en las motocicletas de Gran Premio (del 50 a 57% delante y del 43 al 50% detrás).

Cuando el centro de gravedad está localizado un poco más en la parte delantera (carga delantera  $> 50\%$ ), se hace más difícil que se produzca un caballito, en otras palabras, es más fácil transferir potencia al suelo. Esta es la razón por la que las motocicletas de Gran Premio están más cargadas en la parte delantera. Además, la mayor carga en la parte delantera compensa parcialmente los efectos aerodinámicos de sustentación, lo que es muy importante a altas velocidades. Cuando el centro de gravedad se localiza un poco más hacia la parte trasera de la motocicleta, la capacidad de frenada se ve incrementada, reduciendo el peligro de levantamiento de la rueda trasera en las frenadas fuertes.

En general, la posición del piloto eleva y retrasa el centro de gravedad total y, por tanto, su presencia incrementa la carga en la rueda trasera. Hay que tener muy en cuenta este hecho ya que lo que nos interesa para el comportamiento dinámico de la motocicleta es el centro de gravedad combinado o total.

La altura del centro de gravedad tiene una influencia significativa en el comportamiento dinámico de la motocicleta, especialmente en las fases de aceleración y frenada un centro gravedad alto, durante la fase de aceleración, nos llevará una mayor transferencia de peso desde la rueda delantera a la trasera. La mayor carga en la rueda trasera incrementada fuerza de tracción que puede ser aplicada al firme, pero la menor carga en la delantera hace que el caballito sea más probable.

En la frenada, un centro gravedad alto causa una mayor transferencia de peso a la rueda delantera resultando menor cargada la trasera. La mayor carga en la delantera mejora la frenada pero también hace más probable que se levante la rueda trasera.

La altura del centro de gravedad óptimo nos va a depender fundamentalmente del coeficiente de rozamiento de los neumáticos con el firme. Éste coeficiente rozamiento es bajo ( $<1$ ) es bueno tener un centro de gravedad ligeramente alto para mejorar tanto la aceleración como la frenada (un poco más alto que la mitad del valor de la distancia entre ejes). Si el coeficiente rozamiento es alto ( $>1$ ) conviene bajar el centro gravedad a fin de eliminar un posible caballito o levantamiento de la rueda trasera (su altura debe ser inferior a la mitad de la distancia entre ejes).

A pesar de que no conocemos el coeficiente real de rozamiento, en una carrera de Gran Premio actual suele ser de  $\mu=1,3$  dato que se supone correcto puesto que se utilizarán los neumáticos Dunlop que se utilizan en el mundial. Debido a esto el centro de gravedad debe estar bastante más abajo.

Acelerando:  $p-b = \mu \cdot h$

Frenando:  $b = \mu \cdot h$

De ahí deducimos que la posición longitudinal del centro de gravedad es siempre a la mitad de la distancia entre ejes:

$$p-b = b; 2b = p; \quad b = p/2$$

La altura variará según  $\mu$ :

$$p = 2\mu h; \quad h = p/(2\mu)$$

En nuestro caso la distancia entre ejes es de 1270mm y, como se ha comentado anteriormente, tenemos una  $\mu=1,3$ . Suponiendo el cero el punto de contacto de la rueda delante, realizamos los cálculos siguientes:

$$h = \frac{p}{2\mu} = \frac{1270}{2 \cdot 1,3} = 488.46 \text{ mm}$$

$$b = \frac{p}{2} = \frac{1270}{2} = 635 \text{ mm}$$

Para favorecer el comportamiento dinámico de la motocicleta, los repartos de pesos siempre se realizan de forma desigual. En este caso se otorgará un 52% al tren delantero y un 48% al trasero.

Por lo tanto el resultado final en el eje vertical será el mismo (489mm) y en el eje horizontal:

$$b = 635 \cdot 0,48 = 609.6 \text{ mm}$$

### 6.3 Rigidez del chasis

Durante la fabricación del chasis adecuado a su funcionalidad, no solo hay que elegir el mejor compromiso entre los distintos parámetros geométricos. Si el chasis no es lo suficientemente rígido para mantener la geometría deseada, los cálculos no tendrán ninguna relevancia.

Durante el movimiento son muchas las fuentes de flexión que se producen y estas deben ser minimizadas para garantizar un buen comportamiento. Hay que destacar la necesidad de mantener el alineamiento de los planos medios de las ruedas y el eje de la dirección, de no ser así, la estabilidad direccional empeorará y la moto tenderá a mover la dirección. El tren más importante es el delantero, donde la gran mayoría su rigidez la proporciona una horquilla y la rueda. En las motocicletas con suspensión alternativa tipo “hub-centre”, generalmente, el único elemento que permite la flexión es la propia rueda.

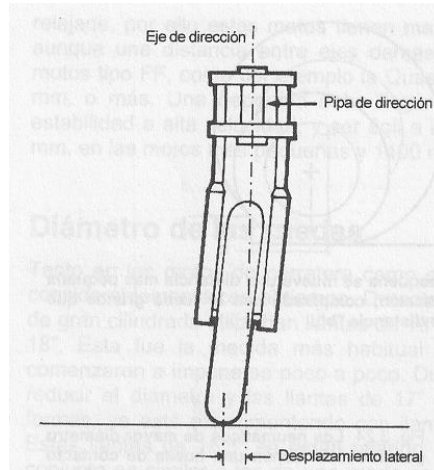


Figura 31: desplazamiento lateral debido a la flexión de la horquilla y la rueda

Las horquillas telescópicas soportadas por una pipa de dirección convencional (elevada) también carecen de rigidez en un plano longitudinal; el momento más crítico es en la frenada, cuando diseños poco rígidos pueden dar lugar a temblores y rebotes de rueda. Este problema también se reduce en diseños tipo “hub-centre”.

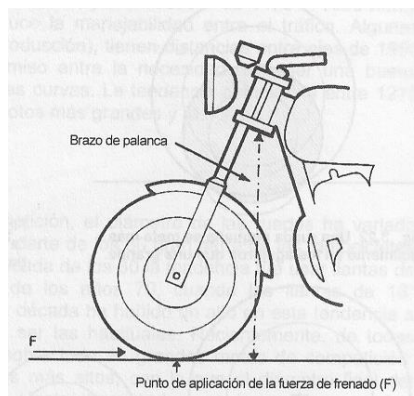


Figura 32: gran brazo de palanca puede causar temblores y rebotes

En una conducció normal, la rigides torsional entre manillar i el eix de la roda no sol ser un gran problema, exceptuant potser, les motos de trial i motocross.

Mantenir la roda alineada amb l'eix de direcció implica no sol rigides lateral en la roda, sinó també la rigides lateral i torsional del xasis i del basculant.

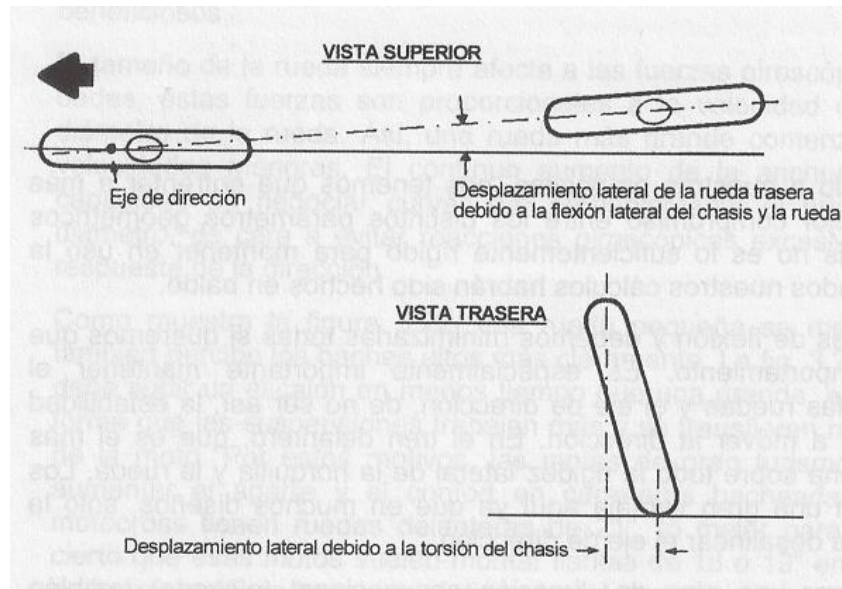
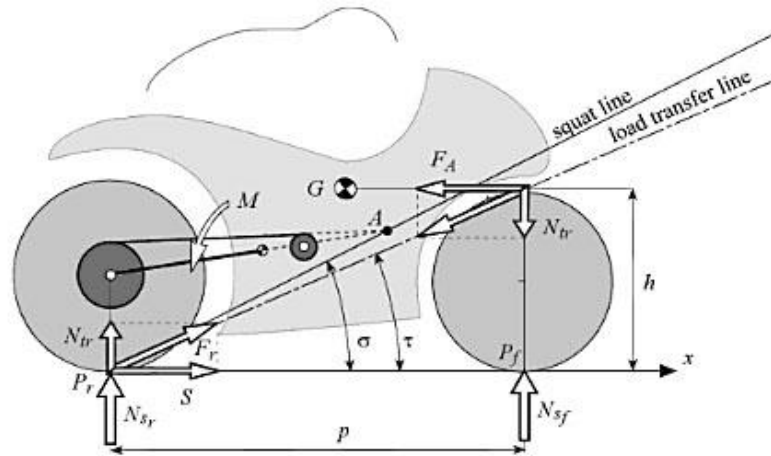


Figura 33: desplazamiento lateral rueda trasera debido a la flexión lateral y torsional del chasis.

## 6.4 Análisis *squat*

Definimos la relación del hundimiento trasero (*squat*),  $R$ , como la existente entre el momento generado por la transferencia de pesos y el momento generado por la suma de la fuerza de la cadena y la fuerza de transmisión. Llamamos  $\sigma$  al ángulo de este hundimiento.



$$\mathfrak{R} = \frac{N_{tr} L \cos \phi}{S L \sin \phi + T L \sin(\phi - \eta)}$$

$$\mathfrak{R} = \frac{h \cos \phi}{p \left[ \sin \phi + \frac{R_r}{r_c} \sin(\phi - \eta) \right]} = \frac{\tan \tau}{\tan \sigma}$$

Figura 34: Líneas de hundimiento trasero y transferencia de pesos.

Esta relación de hundimiento varía según lo hace el ángulo de inclinación del basculante y depende de la diferencia entre el ángulo de inclinación del basculante y el ángulo de inclinación de la cadena. Dicha diferencia es sensible a la posición del eje del piñón de ataque en relación a la posición del eje de pivotamiento del basculante. Pueden ocurrir tres casos:

- El punto **A** está en la línea de transferencia de pesos, entonces  $\sigma = \tau$ ; en este caso  $R = 1$ . Durante la fase de empuje no hay momentos adicionales operando en el basculante, luego el muelle de la suspensión no se comprime más comparado con su condición estática.
- El punto **A** está debajo de la línea de transferencia de pesos,  $\sigma < \tau$ ; en este caso  $R > 1$ . El momento generado por la resultante  $F_r$  causa compresión en el muelle, además de la creada en condiciones estáticas.

El punto **A** está encima de la línea de transferencia de pesos,  $\sigma > \tau$ ; en este caso  $R < 1$ . El momento generado por la resultante  $F_r$  causa extensión en el muelle.



#### 6.4.1 Actitud de la motocicleta según el *squat*

Continuemos con unas observaciones sobre el comportamiento de la motocicleta en movimiento a velocidad constante y con presencia de un empuje equilibrado por la fuerza de resistencia aerodinámica.

Con el incremento de la fuerza de la cadena y, por tanto, de la fuerza de empuje, el eje delantero se levanta debido a que la carga en la rueda delantera se reduce, mientras que la parte trasera del bastidor se levanta o se hunde en función de la relación de hundimiento trasera.

- En el caso de que la relación de hundimiento sea igual a la unidad,  $R=1$ , como la fuerza de la cadena varía, la fuerza que opera sobre el muelle de la suspensión trasera no realiza ninguna variación como acción de la transferencia de pesos, ya que está perfectamente equilibrada por la fuerza de la cadena. Bajo estas condiciones específicas las variaciones en el empuje afectan sólo a la suspensión delantera, **el eje delantero se levanta y el trasero apenas se mueve.**

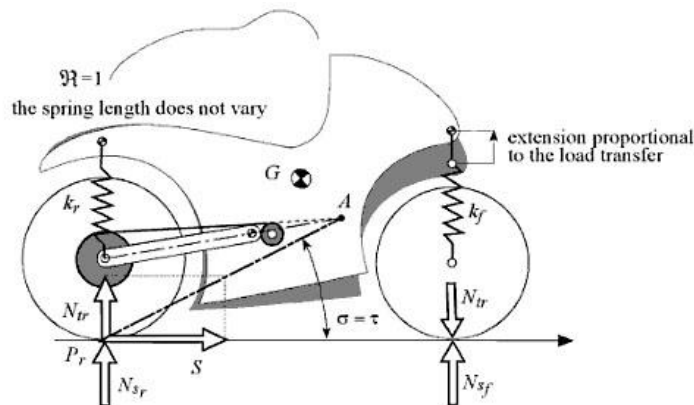


Figura 35: Relación de hundimiento unitaria

- En el caso de que la relación de hundimiento sea mayor que la unidad,  $R>1$ , el muelle de la suspensión trasera se comprimirá comparado con la condición de equilibrio con una fuerza nueva en la cadena. Con el incremento del valor de la fuerza en la cadena, **el eje delantero se levanta mientras el trasero se hunde** de manera proporcional al valor de la relación de hundimiento.



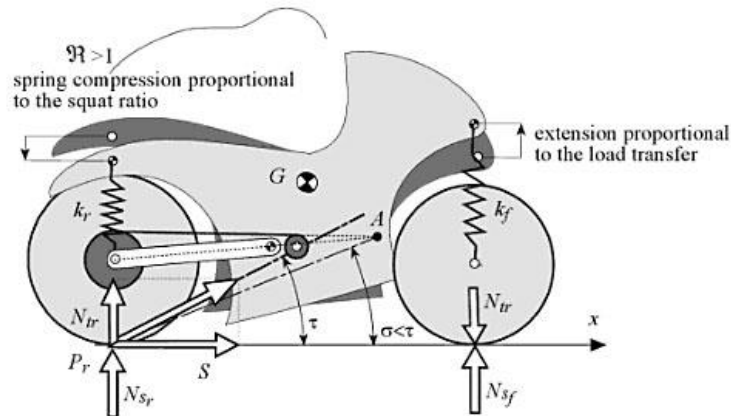


Figura 36:  $R > 1$

- En el caso de que la relación de hundimiento sea menor que la unidad,  $R < 1$ , el muelle la suspensión trasera se extiende y con el incremento de la fuerza en la cadena ***tanto el eje delantero como el trasero se extienden***, causando que el centro de gravedad de la motocicleta se eleve.
- 

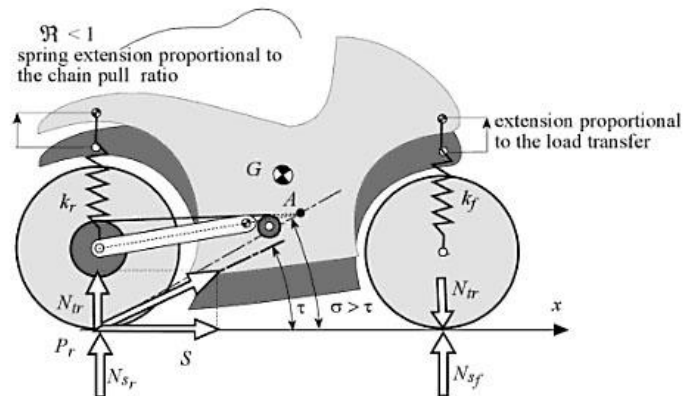


Figura 37:  $R < 1$

Observando los tres casos anteriores podemos concluir que la relación de hundimiento debe ser cercana a la unidad y siempre por debajo para las motocicletas de carreras y muy deportivas de calle, ya que se transmite toda la aceleración al bastidor sin pasar por la suspensión.

### Analisis Squat

Una vez se han situado todos los elementos sobre el plano, confirmando la validez de las posiciones posicionado el centro de gravedad ideal y que el departamento de motor haya realizado un estudio para aportar una estimación del desarrollo que se utilizará durante el fin de semana de la competición, se procede a analizar el *squat*.

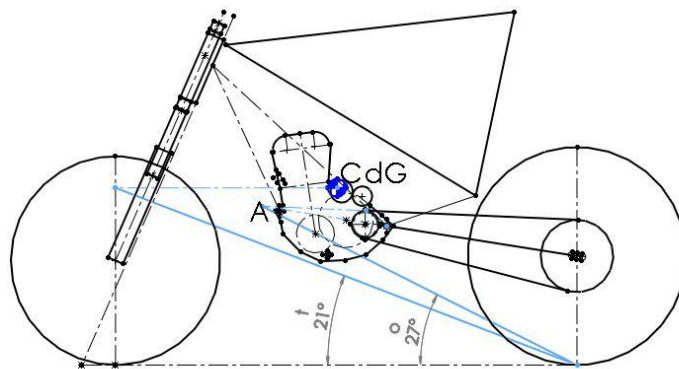


Figura 38: Análisis Squat

Como se ha explicado previamente, para garantizar un correcto funcionamiento de la motocicleta,  $\sigma > \tau$ . Observando la imagen superior vemos que en este caso se satisface la relación y que ambos ángulos son bastante cercanos.

Este estudio, como ya se aclaró previamente, se realiza con la motocicleta en estático y sin piloto, solo con la gravedad. Por lo tanto, a pesar de que parece que la relación no será desfavorable, no podemos asegurar de forma rotunda que no se sobrepase.

## 6.5 Cotas prototipo MotoSpirit

Con el objetivo de obtener el mejor comportamiento dinámico del prototipo, se decidieron una serie de valores que se consideraron optimos a partir de tres premisas:

- Estudio de las motocicletas actuales (Honda, KTM y Mahindra)
- Evolución histórica y aplicación de los conocimientos teóricos
- Viabilidad constructiva

A continuación se realiza un resumen de las cotas utilizadas así como las variaciones que permite el diseño realizado por el equipo.

Tabla 5: Resumen geometría

Parámetro	Valor	Tolerancia
<b>Distancia entre ejes</b>	1270 mm	±40 mm
<b>Ángulo de dirección</b>	23.5°	
<b>Avance</b>	92.51 mm	-7.5/+8.5mm
<b>Excentricidad</b>	30 mm	
<b>Longitud basculante</b>	530mm	±40 mm
<b>Angulo basculante</b>	9°	
<b>Diámetro rueda delantera</b>	576	
<b>Diámetro rueda trasera</b>	601.3	

Los únicos valores que se salen un poco fuera de lo común son la distancia entre ejes y la longitud del basculante. En el primer caso, se ha optado por una longitud más grande de lo normal debido a que estas motocicletas, por lo pequeñas que son, ya son muy ágiles y de esta manera se ganaba estabilidad. En el segundo caso, manteniendo el resto de longitudes dentro de su rango, se obtiene un poco más de tracción al acelerar sin comprometer el comportamiento del resto de la motocicleta.

## 6.6 Evolución del diseño

A partir de las premisas anteriores nos disponemos a realizar el diseño del bastidor.

En un primer momento, el objetivo era realizar un bastidor en doble viga en fibra de carbono. Se empezaron a realizar los primeros diseños pero al realizar un estudio más exhaustivo de los costes de esta solución se observó que el equipo no tenía recursos suficientes para asumirlos.

La siguiente solución, siendo firmes con la idea de innovar con el uso de la fibra de carbono, fue realizar el chasis tubular. A lo largo de este punto se explicará la evolución, razonando las soluciones adoptadas.

Antes de empezar con los diseños del bastidor en si, se realizó un plano posicionando todos los elementos que se debían utilizar (apartado 5.4) y sus longitudes, así como las cotas que se deseaban (apartado 6.5). Debido a que en el cálculo realizado del centro de gravedad, los valores obtenidos lo situaban bastante bajo y el piloto siempre tiende a subir el valor del conjunto, se posicionó el motor lo más abajo posible. Por otra parte, el motor se encuentra en posición vertical porque desde Sherco no aseguraban el correcto funcionamiento de este si se inclinaba más de 15°.

Los motivos por los que el punto de pivotamiento coincide con uno de los anclajes del motor es por dos motivos; el primero es que era la manera en que el piñón de ataque y punto de pivotamiento estuviesen lo más cerca posible; el segundo es que se eliminaba una unión simplificando el diseño. No habría problema en cuanto a la resistencia a fatiga del motor puesto que en la Sherco SE 250i de la que proviene el motor ya se utiliza esta solución siendo un modelo de enduro donde los baches y golpes son mayores que una motocicleta de Gran Premio.

Por último, se realizó el estudio del *Squat* (apartado 6.4) para asegurarnos que la solución era correcta.

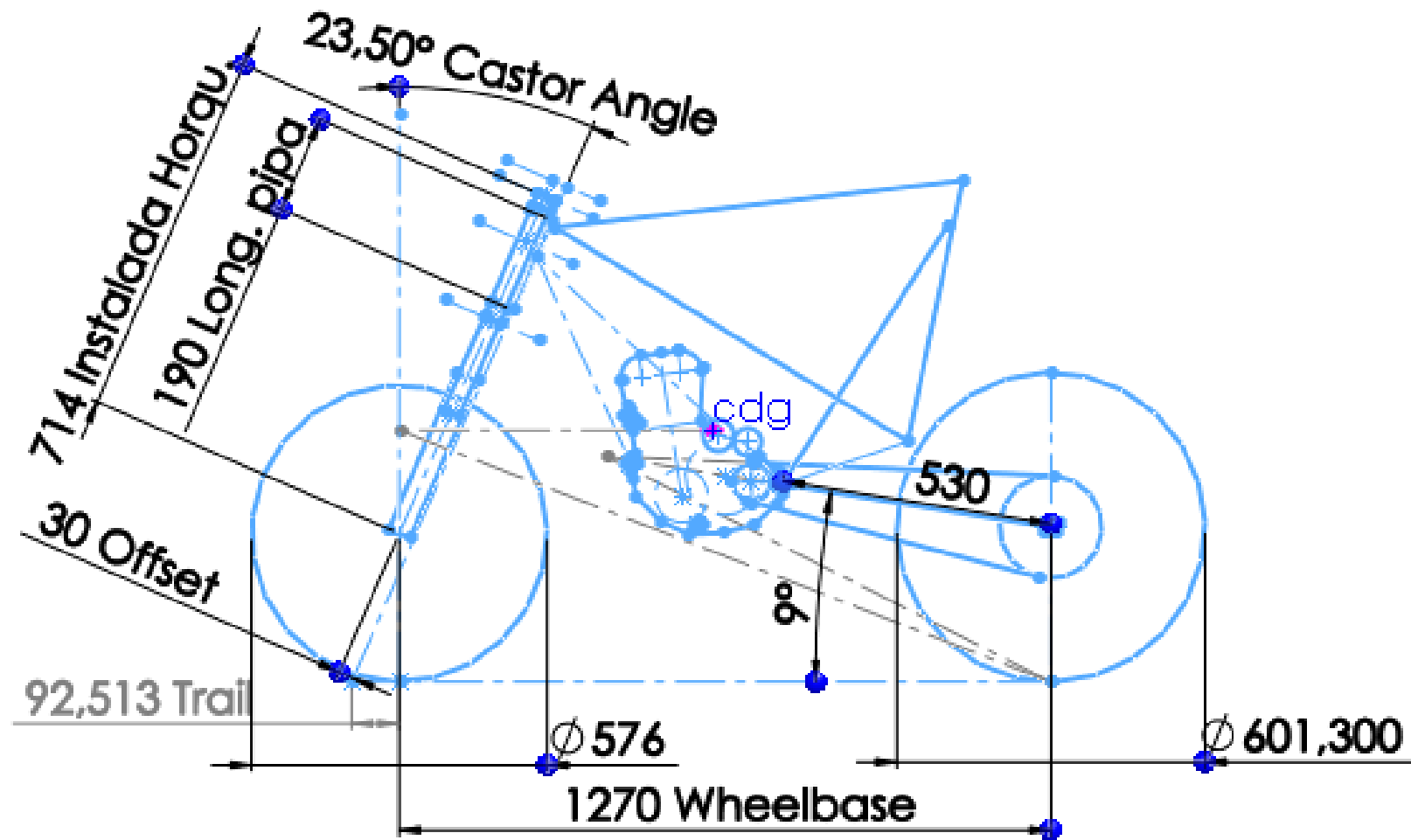


Figura 39: Geometría básica

### 6.6.1 Primer diseño

El propósito a seguir a lo largo de la realización de este diseño era minimizar el número de barras y como consecuencia el número de uniones.

Se trabajó exclusivamente sobre plano debido a que todavía no se había recibido las piezas ni los archivos en CAD por parte de la organización.

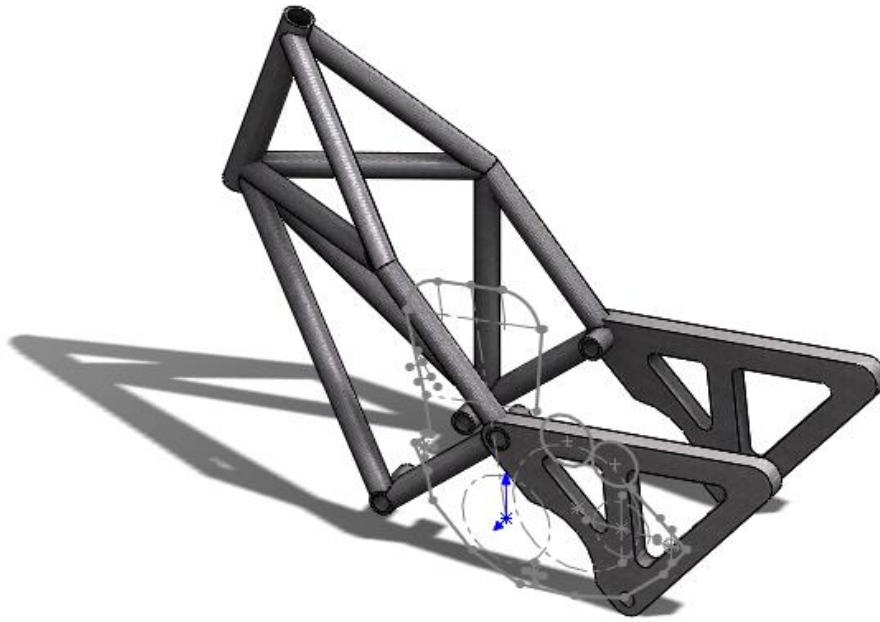


Figura 40: Primer diseño vista trimétrico

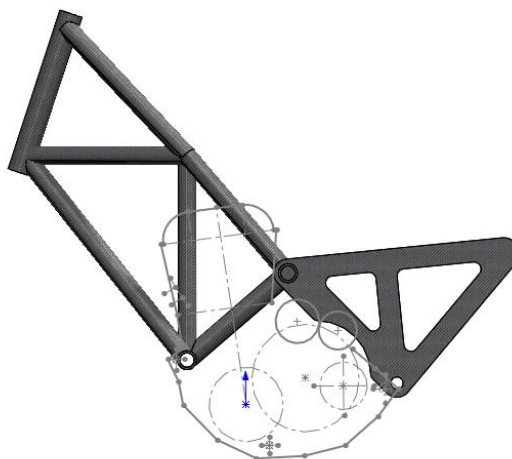


Figura 41: Primer diseño; vista lateral.



Como se observa en la imagen, el bastidor se compone de tres piezas: la estructura tubular y dos placas posteriores.

En un primer momento esta solución satisfacía todas las necesidades establecidas previamente. Se componía únicamente de 12 barras, asegurándonos una ligereza elevada y un número pequeño de uniones. Por otra parte, se utiliza el motor como elemento estructural aportando robustez y rigidez al conjunto.

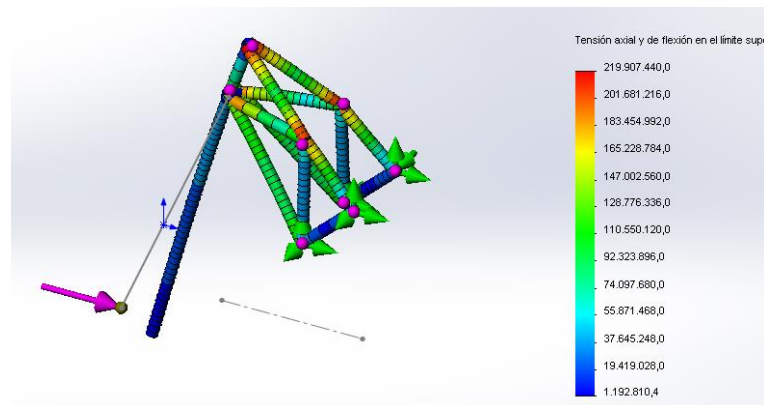


Figura 42: Estudio primer diseño

En la parte posterior del diseño se optó por dos placas en fibra de carbono. El principal motivo de esta opción fue su versatilidad, aportaba rigidez y ligereza así como facilitaba la unión de otros elementos auxiliares. Se podía agujerear sin problemas, permitiendo colocar elementos como las estriberas y el subchasis de forma más sencilla que si fuese tubular.

A pesar de todas sus ventajas, posteriormente surgieron los inconvenientes que propiciaron el cambio. Principalmente fueron tres:

- La unión superior en la pipa de la dirección era excesivamente oblicua, propiciando una transferencia de esfuerzos en direcciones no deseadas en ese punto.
- Grandes dificultades en la unión de las cuatro barras puesto que las cuatro barras se encontraban en planos diferentes.
- El bastidor era demasiado bajo y dificultaría la unión del depósito y demás elementos superiores.

Debido a que se descartó en un estado prematuro no se llegaron a realizar simulaciones ni a avanzar en aspectos como las uniones o la fabricación.

### 6.6.2 Diseños alternativos

Aprendiendo del diseño anterior, entre varios miembros del departamento se realizaron una serie de propuestas para su posterior evaluación. Se trabajó sobre 2D puesto que interesaba la longitud de las barras, la posición de estas y número y tipo de uniones.

Se realizaron cuantiosas propuestas con el fin de cumplir los requisitos deseados.

Gracias a la esquematización de todas las ideas se pudo ir valorando cada una de ellas por separado. Estas tres imágenes buscan reflejar un poco como fueron evolucionando las propuestas y como se iban descartando.

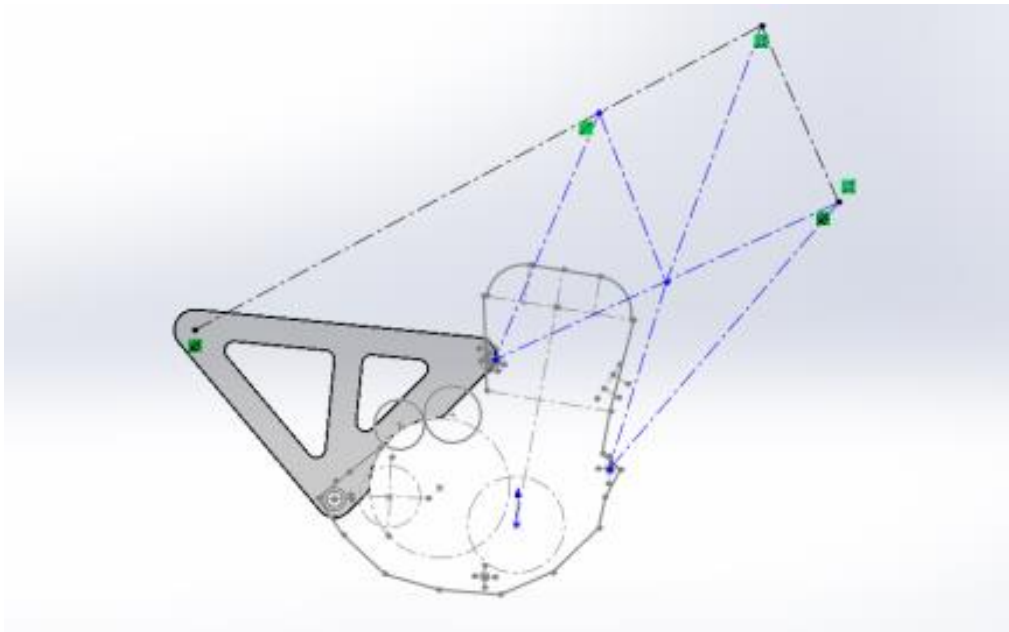


Figura 43: Alternativa 1

En la Figura 43 se observa una propuesta que en un principio nos atraía mucho, porque permitía ensanchar el bastidor en su primer tramo y el número de barras era contenido. El problema, y por el motivo que fue descartado, es que nos encontrábamos una unión donde concurrían 5 barras, factor que dificultaba en exceso su fabricación.

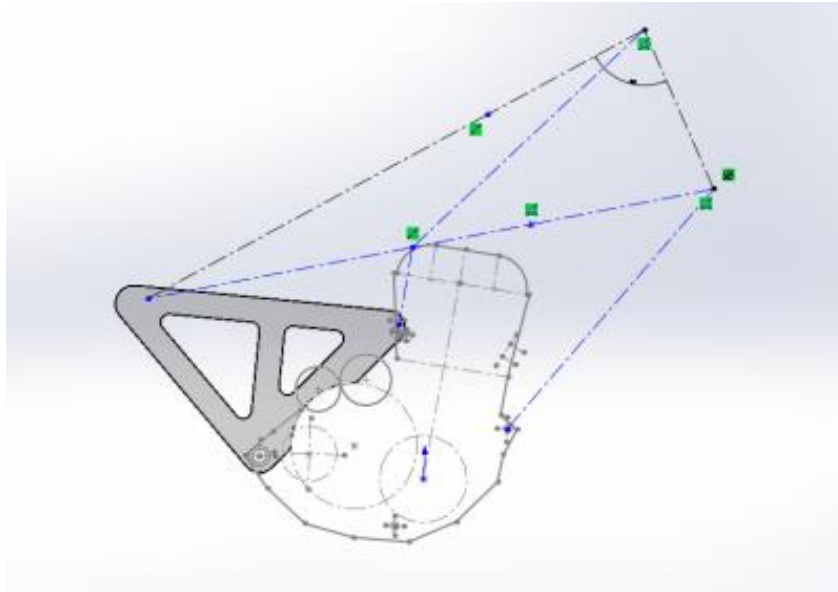


Figura 44: Alternativa 2

La alternativa propuesta en la Figura 44 es la primera en la que se piensa en la idea de no ensanchar el bastidor en su parte delante, consiguiendo así una triangulación en todos los planos del bastidor y eliminando barras y uniones. A pesar de la disminución considerable de barras respecto la propuesta anterior, todavía nos encontrábamos con una unión de 4 barras con las dificultades que conlleva y también teníamos que soldar algún elemento a la culata para generar el punto superior de soporte de motor, puesto que este no existía pero nos convenía en este caso.

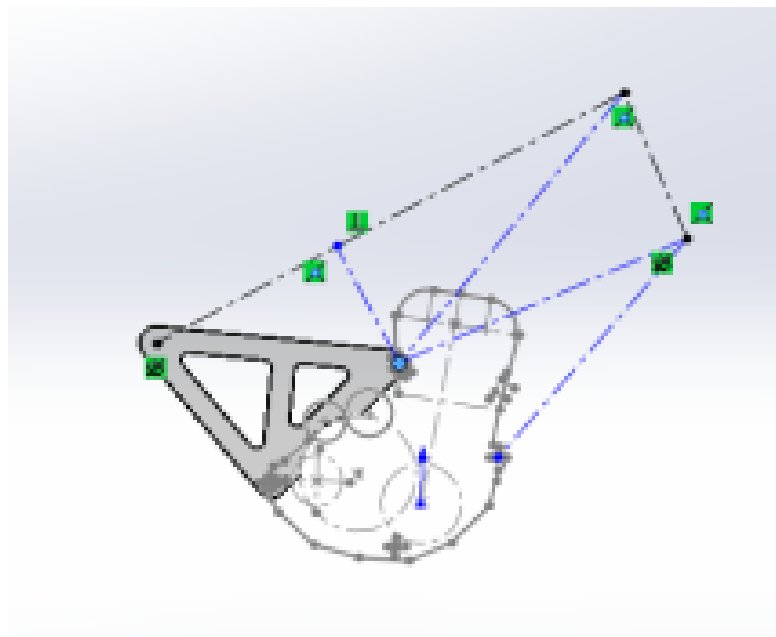


Figura 45: Alternativa 3

Siguiendo con el concepto de la alternativa anterior, obtuvimos el que finalmente sería el definitivo (Figura 45). Agradaba mucho la idea que la barra que uniese la parte delantera y trasera fuese única, hecho que aportaba mucha rigidez. Por otra parte sobre el motor recaía un papel fundamental realizando una importante labor estructural. Por último, a diferencia del caso anterior, en la unión más complicada únicamente convergen tres barras y se utilizan los tres puntos de anclaje que ya tienes el motor. Todo esto reduciendo el número de barras a un mínimo de 5.

## 6.7 Diseño definitivo

A lo largo de este apartado se explicará el diseño en dos partes. Por un lado se explicará el bastidor definitivo de forma general y, posteriormente, se realizará de forma concreta de los puntos más significativos y sus evoluciones más relevantes. No se realizará de forma cronológica puesto que ha habido elementos que han variado varias veces debido a problemas surgidos en diferentes fases del desarrollo.

Después de realizar la evaluación de los diseños y seleccionar el definitivo, procedimos a su modelización en CAD. El resultado final (Figura 46) también se compone de un cuerpo principal de fibra de carbono, pero en este caso el interior de la pipa de dirección es de aluminio y la parte está integrada por 4 placas más sencillas.

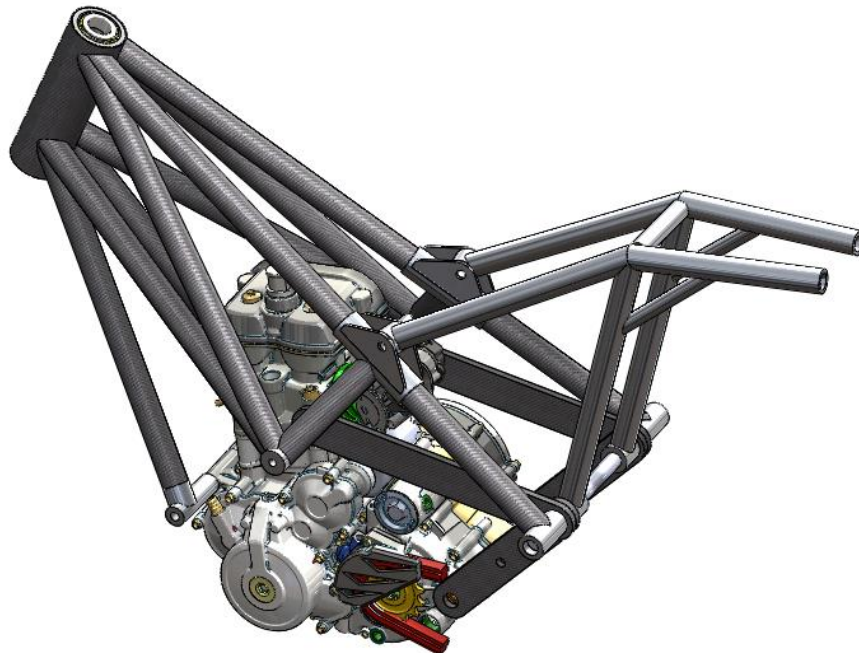


Figura 46: Bastidor definitivo



Figura 47: Triangulación bastidor

El resultado final ha sido un bastidor multitubular en fibra de carbono compuesto por 10 barras, únicamente 6 puntos de unión y completado por 4 placas planas también en fibra de carbono, que junto al motor, ofrecen un conjunto muy rígido y muy ligero capaz de presentar un buen comportamiento dinámico y a su vez muy compacto ofreciendo espacio suficiente al resto de elementos que completan el prototipo.

Analizando la Figura 47 otra de las particularidades de este diseño es que triangula en todos los planos posibles, incluso desde una vista en planta.

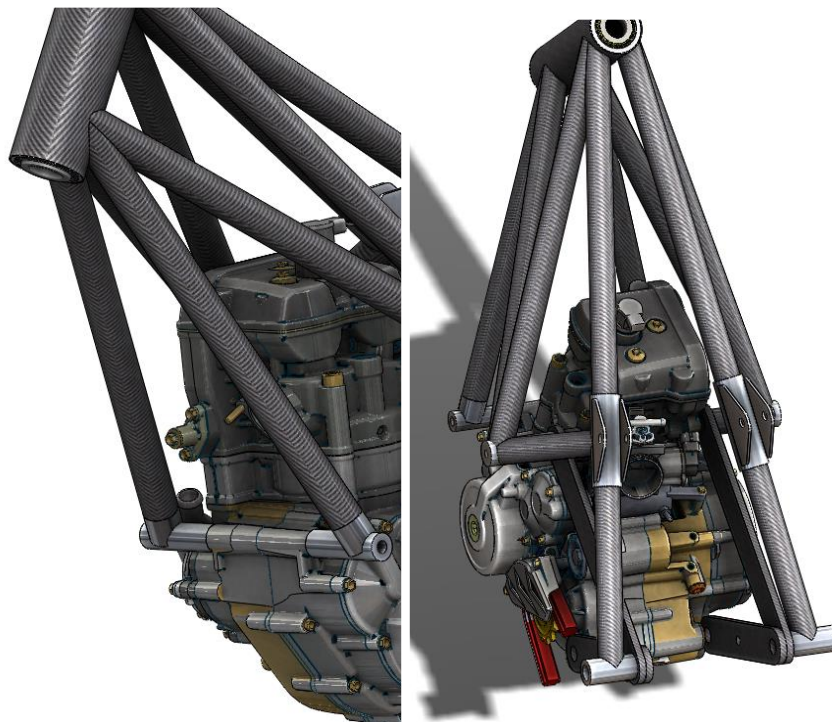


Figura 48: Sensor y culata



Como se aprecia en la Figura 48, durante el diseño general se encontraron dos puntos conflictivos. El primero de ellos fue con el sensor de temperatura del motor, al sobresalir demasiado obligaba a tener que abrir las barras inferiores teniendo que realizar un casquillo más largo.

Por otra parte, la dimensión de la culata era un problema si no se quería abrir el bastidor en la parte delantera como se acostumbra a hacer. Esto propició que el bastidor en su parte superior fuese más ancho, hecho que finalmente no sería un problema por la cantidad de elementos que tenían cabida en la posterior del bastidor.

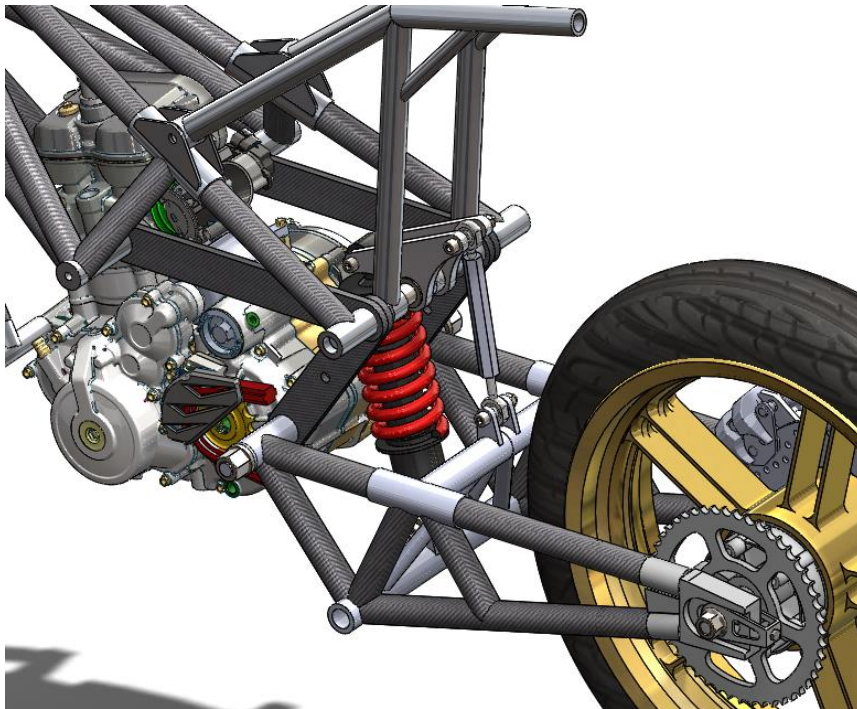


Figura 49: Parte posterior

#### 6.7.1 Pipa dirección

La pipa de la dirección es una de los elementos que más cambios ha sufrido a lo largo del desarrollo. Se ha visto condicionada por la transmisión de los esfuerzos, las condiciones de fabricación y la inclusión de elementos de aluminio y rodamientos.



## Posición de las barras en la unión

Sufrió tres cambios significativos hasta el resultado final.



Figura 50: barras juntas

En un primer momento todas las barras, tanto en la parte superior como inferior, concurrían en un mismo punto. Poco después observamos que esta solución no convenía puesto que, por un lado, dificultaba de forma excesiva la fabricación del bastidor al presentar cortes con desarrollos muy complejos y por otra parte los esfuerzos se concentraban en un único punto sin llegar a aprovechar las capacidades de los materiales que lo componían.



Figura 51: Barras max. separación

La primera variación que se realizó fue separar las barras, que todas atacasen a la pipa en puntos diferentes. Se conseguía distribuir los esfuerzos, permitiendo reducir las solicitaciones en la pipa de la dirección y, al mismo tiempo, se obtenía un mayor espacio para poder realizar el laminado de las diferentes barras. Esta modificación supuso tener que alargar la longitud de la pipa lo máximo posible, hasta una longitud de 190mm, para poder colocar de forma más oblicua la barra señalada en la Figura 50, para no perder la mínima rigidez. Esta pérdida era debida a que las tres barras superiores se orientaban de forma bastante paralela, hecho que causaba una disminución de la triangulación y de su rigidez.



Figura 52: Distribución final

Por último y como cambio definitivo, se abrieron un poco más las barras en el plano transversal (aprovechando que se había aumentado el diámetro de la pipa) y se juntaron en el plano lateral mejorando el reparto de los esfuerzos. La mejora de este cambio se puede observar en la simulación en el apartado 7.1.

### **Interior de aluminio y rodamientos**

Fueron muchas las alternativas valoradas en este aspecto del diseño, desde hacerla maciza de fibra de carbono hasta, la solución final de aluminio mecanizado. Las razones por las que se optó por esta solución fueron las siguientes:

- Debido a que el aluminio utilizado sería un 7075 T6 las propiedades mecánicas que presentaba eran muy favorables, por lo tanto no era un aspecto que se viese muy perjudicado en comparación con la fibra.
- Otro aspecto positivo del aluminio era su peso, que tampoco suponía un aumento realmente significativo.
- Al poderlo mecanizar antes, de cara al montaje era un punto de partida junto con el resto de casquillos, facilitando su posicionamiento en el utillaje (Apartado 9.1).
- Al ser un material con buenas propiedades para el mecanizado, era sencillo realizar el alojamiento de los rodamientos, tanto de los superiores como de los inferiores.

Finalmente, como se puede observar en la Figura 53 los rodamientos que se utilizarán para la dirección del prototipo son rodamientos cónicos de una hilera, debido a que son compactos y presentan un buen comportamiento ante cargas elevadas en varias direcciones (Anexo IV).

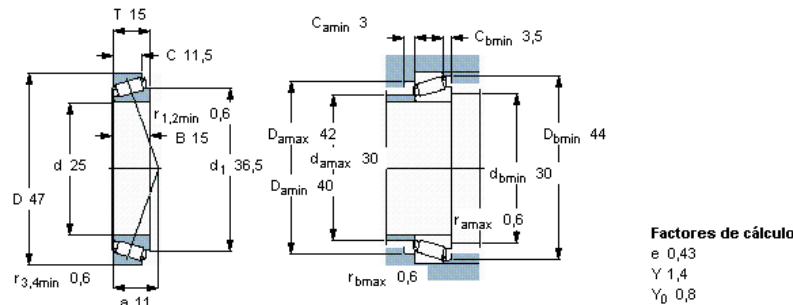


Figura 53: Rodamientos cónicos

### 6.7.2 Uniones

Como el resto de elementos que forman el bastidor, fue un aspecto que importaba muchísimo y en el cual se evaluaron varias alternativas. Se repasarán las dos más factibles: casquillos en aluminio y sobrelaminado en fibra.

#### Casquillos de aluminio

Una vez constituida la geometría y colocación de las barras el siguiente escollo a salvar era la unión entre estas. A pesar de que esta explicado con detenimiento en el apartado 8.1, esta alternativa presentaba tres grandes ventajas: era económica, fácil montaje y se podía soldar (tanto el final de las barras como elementos auxiliares).

Debido a estas ventajas, en los inicios se decidió realizar así todas las uniones. Como consecuencia se ideó los ensayos realizados más adelante.

Observando la Figura 52, es evidente la complicación que presenta la pipa de dirección. La probabilidad de cometer alguna desviación tanto en el corte o la soldadura era muy elevada.

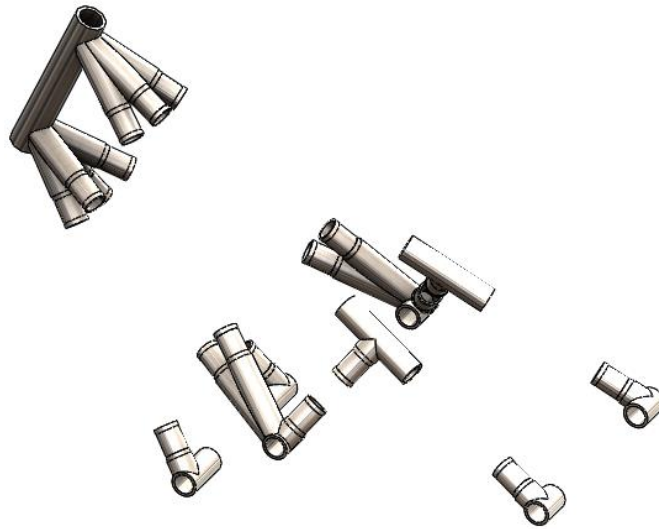


Figura 54: Uniones con casquillos

Finalmente la implementación de los casquillos se vería substituida por el sobrelaminado (explicado a continuación), exceptuando una unión: la inferior del motor.

En este punto se tuvo que optar por esta alternativo por un motivo exclusivamente constructivo. El circuito de refrigeración limitaba excesivamente el espacio y no permitía utilizar un casquillo de diámetro 28mm, igual que el de las barras de fibra de carbono, sino que debía ser de 22mm. Debido a esto se consideró que lo mejor sería soldar dos tubos de diferentes diámetros como en la figura 55.

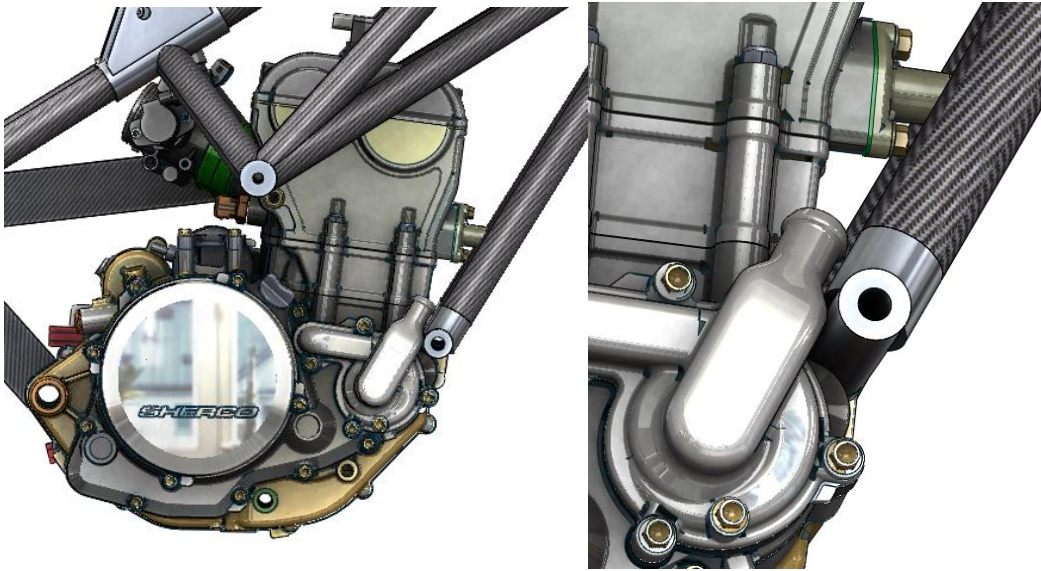


Figura 55: Casquillo 22mm

### Sobrelaminado

Posteriormente, después del asesoramiento recibido por la empresa Nexus Projectes con un largo recorrido y experiencia en la aplicación de la fibra en diferentes sectores (aeronáutico y automoción entre otros) se valoró la posibilidad de realizar las uniones sobrelaminando por encima. Las ventajas e inconvenientes así como su fabricación y ensayo se pueden ver en el apartado 8.2.



Figura 56: Bastidor final



Visto el éxito en la aplicación de esta alternativa, el diseño dio un vuelco considerable, aplicando esta solución a todas las uniones excepto la unión inferior del motor, explicada anteriormente.

### 6.7.3 Placas traseras

En el proceso de evolución de las placas traseras se partía de la idea inicial del primer diseño, pero con el tiempo las placas se fueron simplificando.

En el primer diseño eran unas placas triangulares que unían dos puntos del motor con el punto donde iba el balancín y recaía parte del subchasis. Generalmente los bastidores agarran por fuera el basculante, pero en este caso para facilitar la fabricación y el diseño del basculante este se realizó recto, hecho que lo hacía más ancho de lo normal, se decidió que las placas irían por dentro. Esto también reducía la anchura total del prototipo en ese punto, aunque el anclaje superior con el motor sobresaliese un poco.

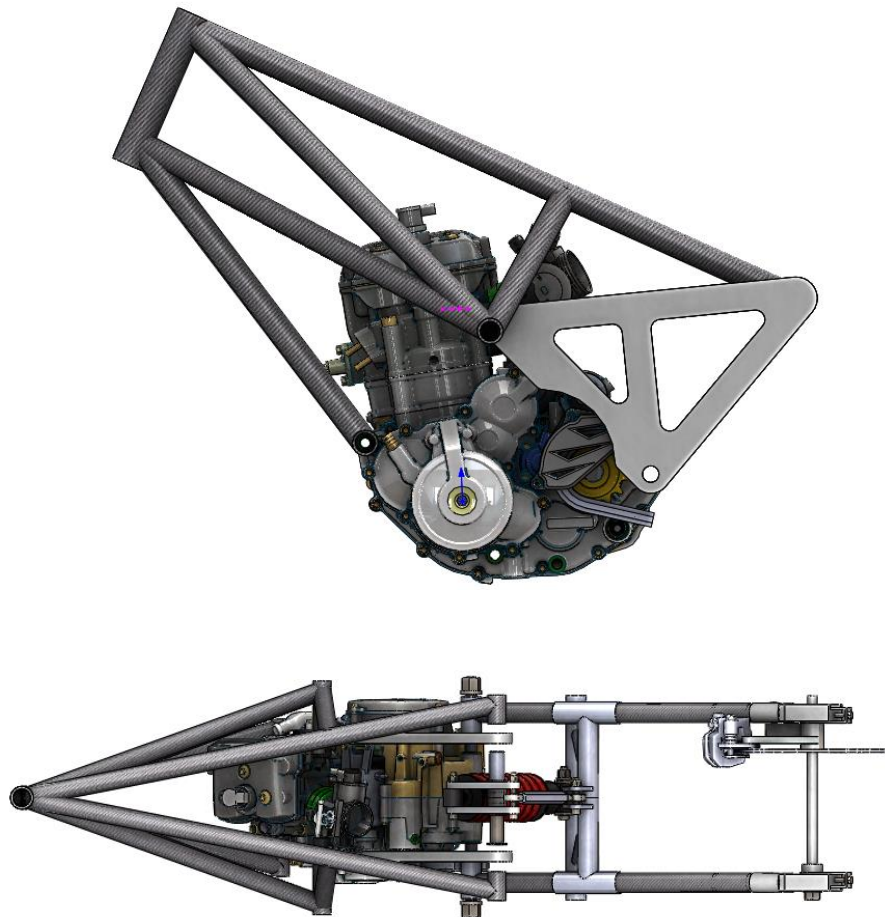


Figura 57: Placa triangular



Con la obsesión de simplificar el diseño para ahorrar peso, se observó que el motor podía tener una función estructural mayor manteniendo la triangulación que se tenía hasta el momento. Se decidió que la placa tendría forma de “L”. A pesar de reducir peso y material no se perdía rigidez.

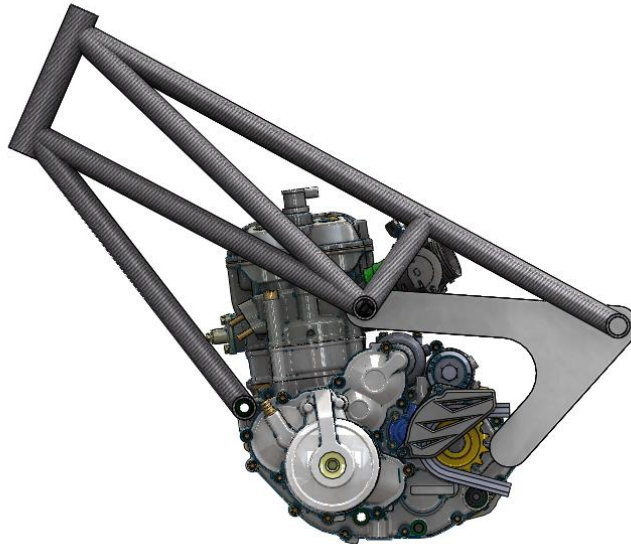


Figura 58: placa en L

A pesar que parecía una buena opción, surgieron varios problemas. El principal fue que a causa de que los anclajes superiores del motor no eran simétricos y, como se ha explicado anteriormente, el basculante cogía por fuera al bastidor, no se podía poner unas placas planas puesto que interferían con otros elementos de la motocicleta o se tenían que posicionar de forma asimétrica.

Finalmente, estudiando las simulaciones realizadas (apartado 7) se observa que la parte posterior, donde van situadas las placas, es la que menos esfuerzos soporta. Por otra parte, después de visitar la empresa CarbonoRacing, observando su proceso de fabricación se detectó un coeficiente de aprovechamiento del material nefasto, con el consiguiente coste económico. La opción final por la que se optó fue simplificar al máximo, utilizando dos placas por ambos lados prácticamente rectangulares.

De esta manera se conseguía que la motocicleta fuese prácticamente simétrica respecto al plano medio y simplificaba la fabricación de las placas reduciendo costes al mismo tiempo.

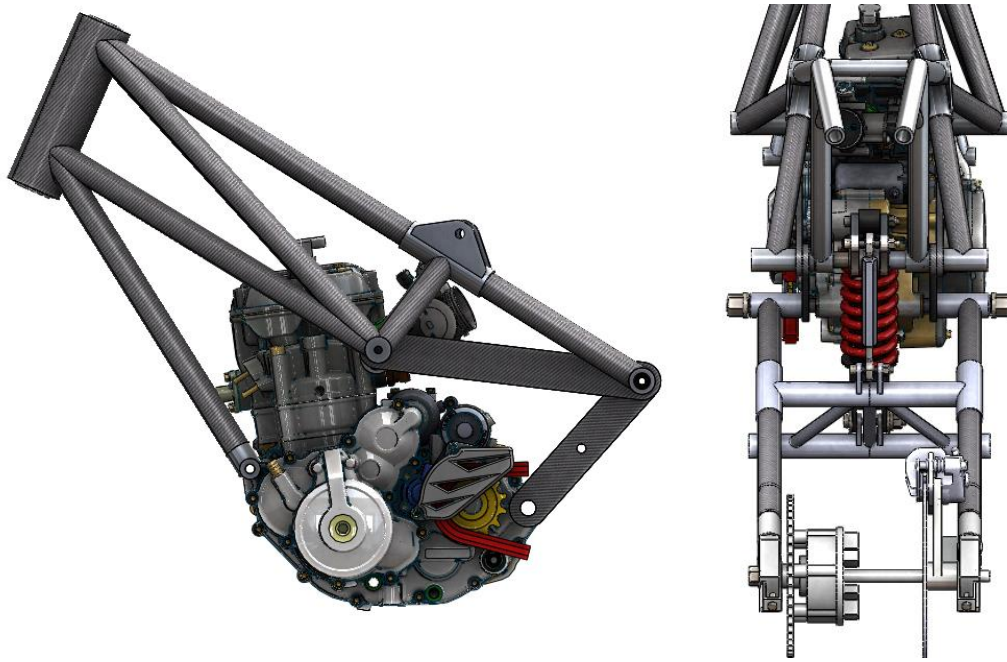


Figura 59: Placas definitivas

#### 6.7.4 Motor

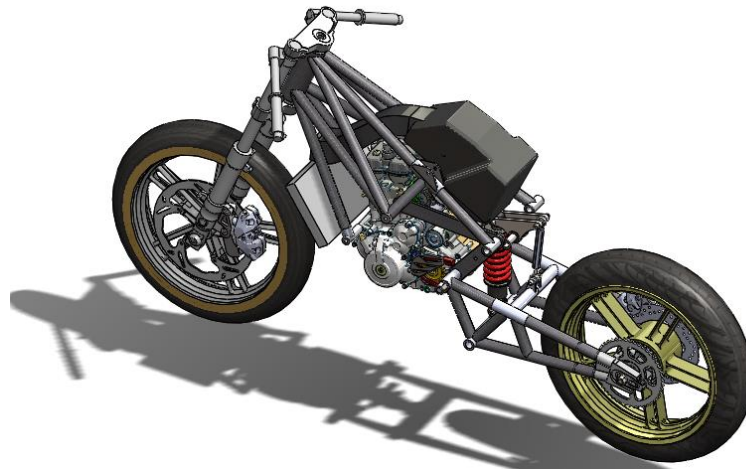


Figura 60: CAD con admisión

Dejando a un lado todos los aspectos que influían únicamente a bastidor, a lo largo del proyecto también se ha trabajado de una forma estrecha con el departamento de motor.

El diseño siempre ha sido permisivo, dentro de lo posible, a variaciones para dar cabida a elementos como el *airbox* que se sitúa encima del bastidor, o el *ram air* que pasa a través de él. También se tenían que tener en cuenta premisas como el alojamiento del radiador o espacio suficiente en la realización del depósito.

## 7. Cálculos

Los cálculos y simulaciones que se realizarán a lo largo de este apartado son estimaciones aproximadas. De igual forma que el conjunto, todas las simulaciones se realizarán con el programa SolidWorks 2013 en su modo simulación y serán para situaciones estáticas en un momento concreto.

Con el fin de evaluar el bastidor se estudiarán dos casos: frenada máxima y paso por curva. El primero de ellos es el más crítico que ha de resistir el bastidor en su vida funcional, El segundo de los casos será uno de los más frecuentes durante el uso del prototipo y los esfuerzos son completamente diferentes al primer caso.

Se consideran una serie de premisas aplicadas en todas las simulaciones que se realizarán a continuación:

- Se simulará únicamente el bastidor como elemento único e indivisible.
- Tanto el motor como las placas traseras de fibra de carbono se considerarán en todo momento indeformables. En el caso del motor esta consideración es válida debido a que es un motor que está diseñado para un uso en una motocicleta de enduro donde sufre esfuerzos mayores y más dispares; el punto de pivotamiento es el mismo que en la motocicleta de origen. Las placas de fibra son macizas de 12mm, con una rigidez mayor a la de los tubos.
- A causa del punto anterior, en las simulaciones se fijarán (sin traslación) los 6 puntos traseros del bastidor y las fuerzas serán aplicadas en la pipa de dirección. Esto también facilita su aplicación puesto que sería excesivamente complicado de qué manera (magnitud y dirección) se reparten las fuerzas entre los 6 puntos.
- El programa que se utiliza en las simulaciones realiza un mallado lineal y/o tetraédrico, proporcionando un comportamiento isotrópico del material aplicado.
- Respecto al punto anterior, hay que aclarar que la fibra de carbono no tiene un comportamiento isotrópico. Su comportamiento depende directamente del posicionamiento del tejido.

En el caso de un bastidor los principales esfuerzos que reciben las barras son principalmente a compresión, sufriendo también a flexión y un poco de torsión. La distribución de las fibras en los tubos que se utilizarán en la fabricación, es un 75% a  $0^\circ$  y el otro 25% a  $\pm 45^\circ$ , gracias a esta distribución, se puede asegurar que a pesar de no ser isotrópico y que las magnitudes no serán exactas, se puede realizar una valoración correcta del comportamiento del bastidor.

- En las propiedades del material se aplica uno cualquiera y se cambia el límite elástico por el de la fibra, aplicando 570MPa como se puede ver en los datos del material en el Anexo IV.

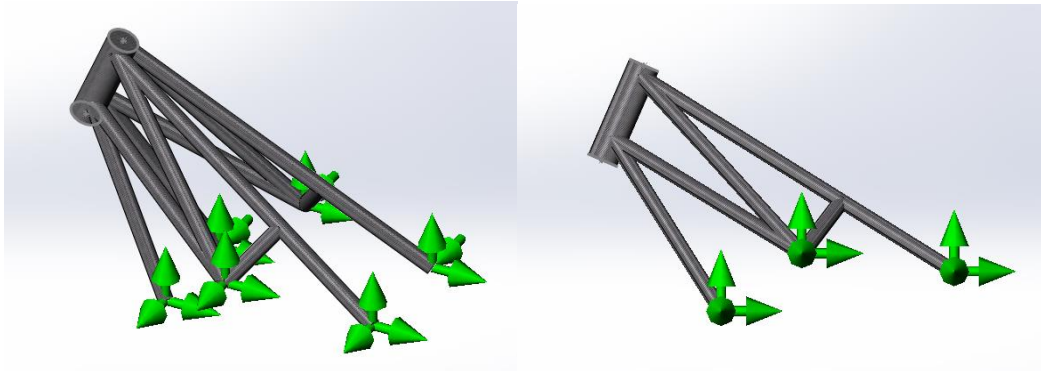


Figura 61: Puntos de fijación

### 7.1 Evaluación barras en la pipa de dirección

En el apartado 6.7.1, se comentaba cual era la evolución del posicionamiento de las barras que llegan a la pipa de la dirección. El último cambio se realizó a partir de dos simulaciones a modo de comparativa entre dos configuraciones diferentes de las barras.

Para realizar la comparativa, se ha aplicado una fuerza aleatoria de 100N, en la parte inferior de la rueda, emulando la frenada máxima, puesto que solo se querían evaluar de forma cualitativa ambas opciones.

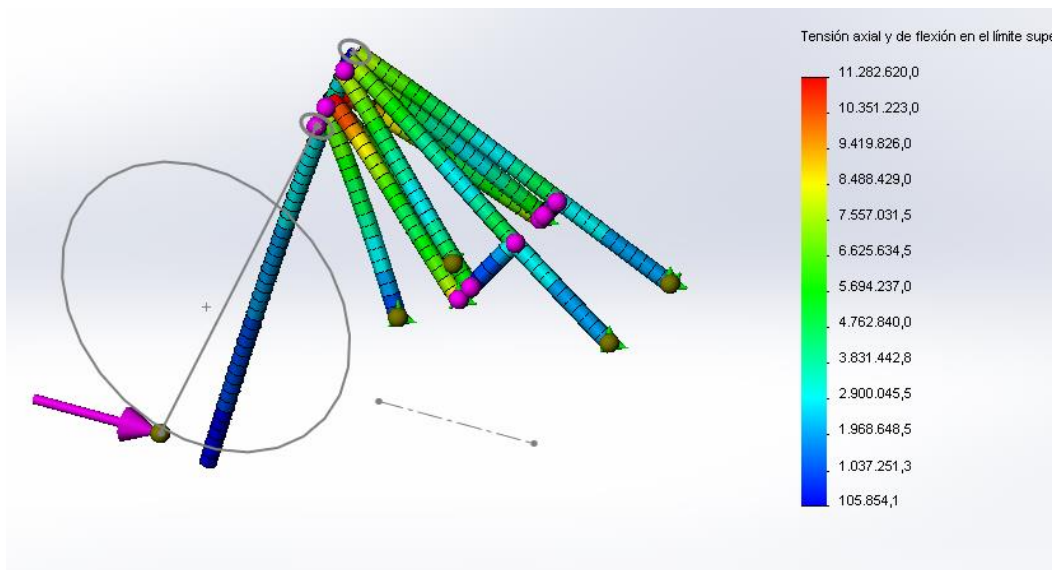


Figura 62: 100N configuración inicial

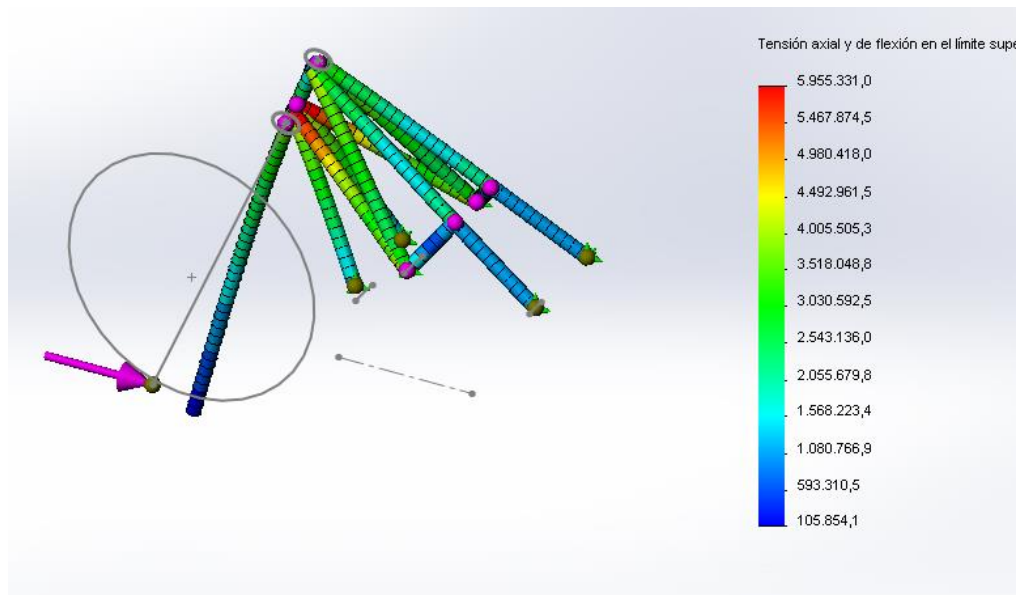


Figura 63: 100N configuración alternativa

Una vez realizadas las dos simulaciones, se observa como al hacer converger las barras estas sufren aproximadamente la mitad que con las barras separadas. No solo vemos un mejor comportamiento en los puntos críticos, sino que se observa un reparto más equitativo de todas las barras.

## 7.2 Frenada máxima



Figura 64: Frenada máxima Ducati



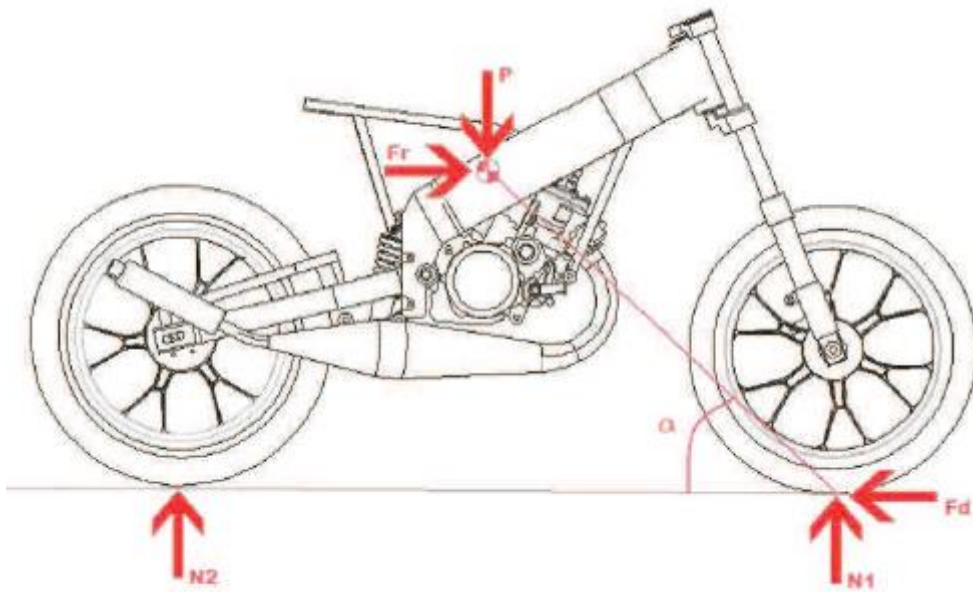


Figura 65: Esquema frenada máxima

Como se ha comentado en la introducción, el momento de la frenada máxima es el punto donde más esfuerzos sufre el bastidor.

### Datos de partida

1. En el momento de frenada máxima, es justo cuando la rueda trasera pierde el contacto con el suelo, por lo tanto todo el peso recae sobre la rueda delantera. En consecuencia  $N_2$  es nula.
2. Se han analizado varios artículos de revistas especializadas (Motociclismo, SoloMoto...) donde se evaluaba la capacidad de frenada de algunos modelos de calle. Observando que una CBR 1000 con ABS en frenada máxima obtenía una deceleración de  $9.5\text{m/s}^2$ , para la realización de la simulación se estima una capacidad de frenada del prototipo de  $1\text{G}$ .
3. Peso de la moto:  $100\text{Kg}$ .
4. Peso del piloto (ha de poder llevar la moto un percentil del 95% de la población):  $100\text{Kg}$

### Cálculos:

$$P = 200\text{Kg} \cdot \frac{9,81\text{m}}{\text{s}^2} = 1962\text{N}$$

$$F_r = M \cdot a = 200Kg \cdot \frac{9,81m}{s^2} = 1962N$$

Considerando  $N_2 = 0 \rightarrow N_1 = P = 1962 N$

Si igualamos las fuerzas horizontales:  $F_r = F_d = 1962N$

A los cálculos se les aplicará un factor de seguridad de 1.5.

Tabla 6: Resumen fuerzas

Fuerza	Calculada	Mayorada
<b>P</b>	1962N	2943N
<b>F<sub>r</sub></b>	1962N	2943N
<b>F<sub>d</sub></b>	1962N	2943N
<b>N<sub>1</sub></b>	1962N	2943N
<b>N<sub>2</sub></b>	0	0

## Simulaciones

Para realización de la simulación se le adjunta al bastidor una barra rígida que actúa como sustituta de la horquilla telescópica. En la realidad la horquilla flexiona absorbiendo parte del esfuerzo, pero como no conocemos el comportamiento se considera rígida siendo este el caso más desfavorable.

Se le aplica una fuerza de 3000N, estimada anteriormente, en el punto de contacto entre rueda y asfalto que es donde provocaría un mayor momento.

Por último, se comparan dos diámetros de la “horquilla” para ver como difiere en el caso que la barra pueda asumir una mayor flexión.

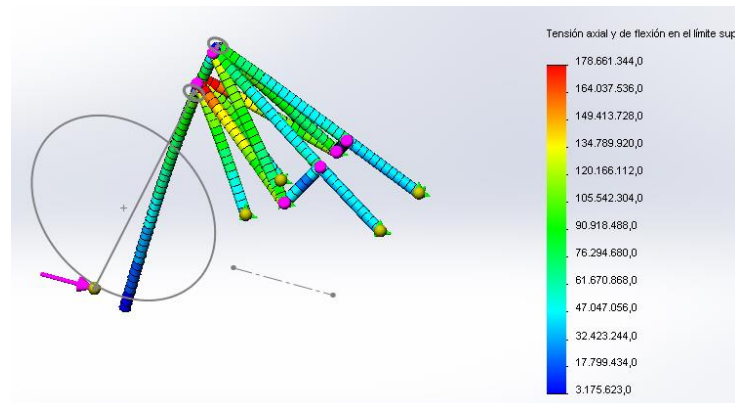


Figura 66: simulación pipa 60mm



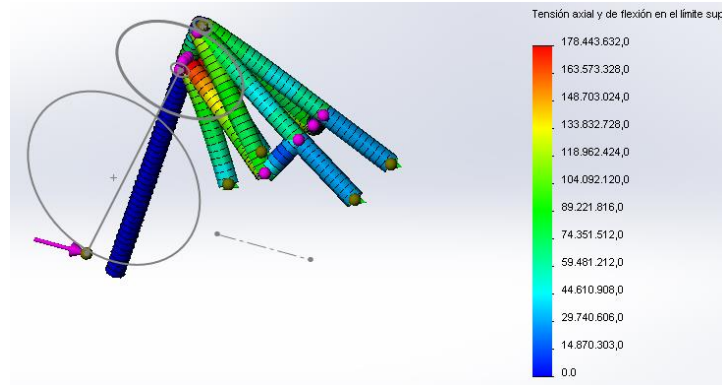


Figura 67: simulación pipa 400mm

Una vez realizados los dos estudios, como estaba previsto, en el segundo de los casos la sollicitación del bastidor es mayor aunque la diferencia sea muy pequeña. Respecto a los valores de tensión obtenidos se observa que se encuentran en torno a 170-180 MPa, bastante por debajo de los 570MPa de referencia.

### 7.2.1 Simulación 2mm de espesor

Desde el principio se valoró el uso de tubos de 2mm en lugar de los de 1mm. Con el objetivo de valorar el cambio en las tensiones, también se realizó el estudio de la frenada máxima con este espesor. Debido a que el comportamiento era muy similar, solo se realizó la simulación con una horquilla de 60mm.

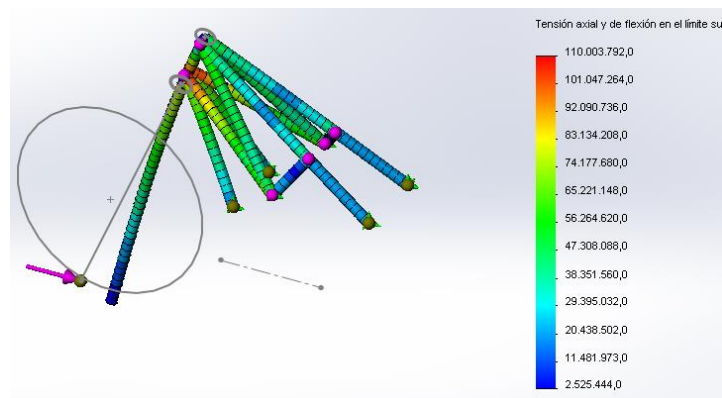


Figura 68: Simulación 2mm espesor

Comparando esta simulación con la realizada con espesor de 1mm se observa que la tensión máxima disminuye de 178 a 110MPa. Debido a que la pipa de dirección y los casquillos son de aluminio, el uso de tubos de 2mm de espesor aumentaría el peso del bastidor en un 15%, y en base a las simulaciones realizadas, se disminuirían en un 40% las tensiones. Por lo tanto y teniendo en

cuenta que no se conoce exactamente el comportamiento de todas las uniones ni posibles esfuerzos que se produzcan en situaciones no habituales (baches, caídas...), se toma la decisión que nos es favorable el aumento de rigidez a pesar del aumento de peso que proporciona.

### 7.3 Paso por curva



Figura 69: Rossi paso por curva

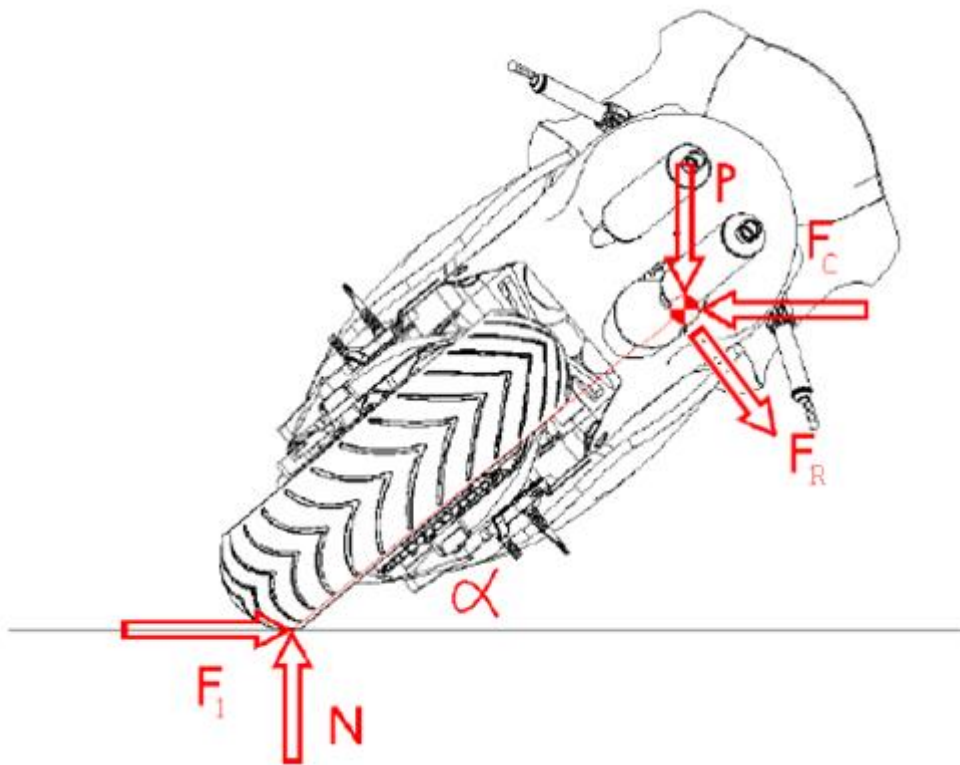


Figura 70: Esquema fuerzas paso por curva

Otro de los puntos a considerar sería el paso por curva de una motocicleta.

### Datos de partida

1. Se considerará un paso por curva donde el piloto deja correr la moto, es decir sin acelerar o frenar.
2. Se realizará el cálculo pasando la moto por la última curva del trazado nacional del circuito Alcañiz (radio aproximado 172m) a una velocidad de 100km/h.
3. El neumático es plano.
4. El ángulo aplicado será de  $\alpha=45^\circ$ .
5. Peso de la moto: 100Kg.
6. Peso del piloto (ha de poder llevar la moto un percentil del 95% de la población): 100Kg

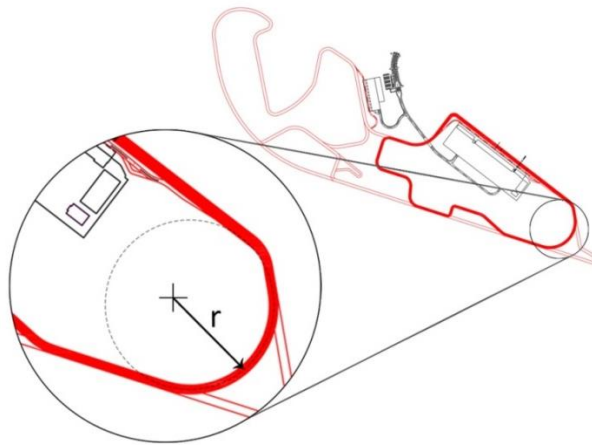


Figura 71: Última curva Alcañiz

### Cálculos:

Para obtener  $F_R$ :

$$100 \text{ km/h} = 27,78 \text{ m/s}$$

Siendo  $F_c$  la fuerza centrífuga:

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r = 200 \cdot 0,1615^2 \cdot 172 = 897.23 \text{ N}$$

$$\omega = \frac{v}{r} = 0.1615 \text{ s}^{-1}$$

Conociendo  $\alpha=45^\circ$ :

$$P = 200Kg \cdot \frac{9,81m}{s^2} = 1962N$$

$$\begin{aligned} F_R &= P \cdot \cos\alpha - F_R \cdot \cos\alpha = (P - F_R) \cdot \cos\alpha \\ &= (1962 - 897.23) \cdot \cos 45 = 561.99N \end{aligned}$$

A los cálculos se les aplicará un factor de seguridad de 1.5.

### Simulación

Como se ha explicado en la introducción se fijarán los 6 puntos posteriores y se aplicará una fuerza en la pipa de la dirección. La fuerza será de 850N.

A diferencia de frenada máxima, la simulación únicamente se realizará para un espesor de 2mm puesto que es el que llevará el prototipo definitivo.

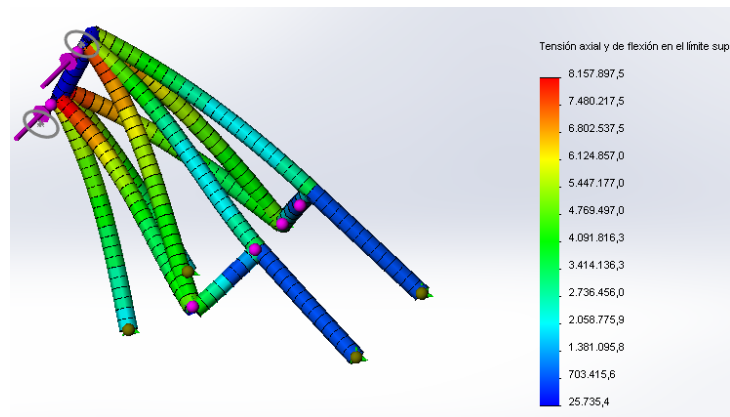


Figura 72: Simulación a flexión

Después de simular el paso por curva se deduce que no tendrá ningún peligro puesto que los 8MPa está muy por debajo del límite de la fibra.

## 8. Uniones. Ensayos experimentales

La mayor dificultad durante el desarrollo de este proyecto era el diseño de las uniones de los tubos que conforman el bastidor del prototipo. Tras realizar todo tipo de diseños y valorar cada uno de ellos se estimó por viabilidad constructiva y económica que la mejor solución en este aspecto era utilizar dos tipos de uniones: insertos de aluminio o sobrelaminado.

### 8.1 Insertos de aluminio

En un primer momento en todas las uniones se iba a optar por esta solución. Tiene grandes ventajas y es relativamente sencilla de aplicar.

Consiste en mecanizar unos casquillos que posteriormente irán introducidos dentro de las barras de fibra de carbono fijadas a estas mediante adhesivo estructural. La principal ventaja de este tipo de uniones es que el extremo de la barra era metálico lo que permitía poder soldarla si fuera necesario. A su vez la necesidad de soldar los extremos, presentaba nuevos inconvenientes puesto que el adhesivo se veía sometido a un impacto térmico.

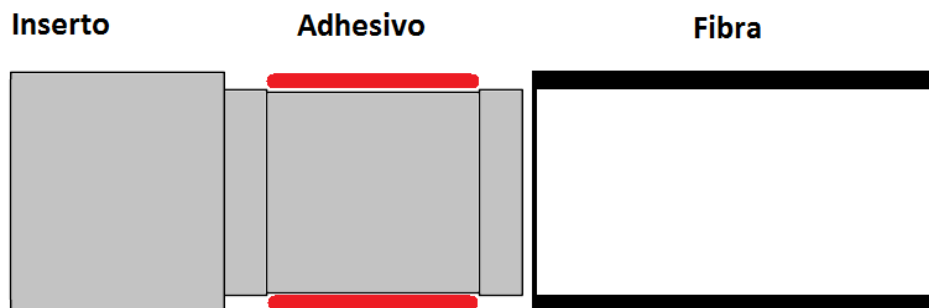


Figura 73: Esquema insertos

Por otra parte, todas las barras iban unidas a los casquillos que unirían el bastidor con el motor, subchasis y basculante. Solo se podían unir mediante dos maneras: mecanizado o soldadura. La primera de ellas hubo que descartarla por el alto coste que suponía, la segunda, era una forma fácil y más económica, a pesar de la dificultad de soldar determinadas aleaciones de aluminio, fue la solución que se acabaría aplicando.

#### 8.1.1 Ensayo a tracción

Con el fin de valorar y poder caracterizar este tipo de unión, se creyó conveniente realizar una serie de ensayos.

En base al proyecto de Formula Student "Design of a Carbon Fiber Suspension System for FSAE Applications" realizado por Alban C.Cobi del

Massachusetts Institute of Technology (MIT), se decidieron las medidas y acabados que se aplicarían en el inserto.

El ensayo se ideó para observar el comportamiento del adhesivo, desde el punto de vista de la sollicitación, un esfuerzo a tracción era el más crítico y daría un orden de magnitud más aproximado sobre su comportamiento.

Para la fabricación de la probeta, se usó tubo de acero, tubo de fibra, adhesivo estructural Adekit 140 de la marca Axson y dos perfiles en T.

Se mecanizaron los casquillos según las medidas establecidas, realizando dos rebajes, el primero es donde apoyaría el tubo de fibra y el segundo sería el alojamiento del adhesivo. Las tolerancias son muy pequeñas para favorecer la retención del adhesivo. El tubo de fibra era de 28 milímetros de diámetro y uno de espesor con el 50% de las fibras a 0° y el otro 50% a 90°.

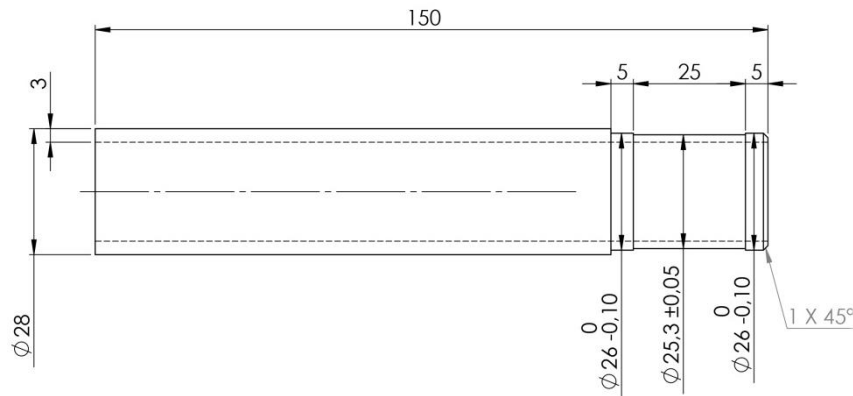


Figura 74: Plano inserto

## Montaje

Primero se chorreó con arena la parte del casquillo donde iría el adhesivo, obteniendo así una zona más porosa favoreciendo el contacto. Posteriormente se le aplicó una fina capa de adhesivo fluido y se introdujo el casquillo dentro del tubo de fibra, al que previamente se le habían realizado dos orificios contrapuestos de 4mm de diámetro y se había lijado su interior. Una vez introducido el casquillo se inyectó a presión el Adekit 140 por uno de los orificios dejando que rebosara por el otro lado para asegurar que cubriría completamente toda la superficie chorreada.

Posteriormente se dejó curar durante 48h a presión y temperatura ambiente. Finalmente, para poder realizar el ensayo, se soldaron perfiles en T en ambos extremos de la probeta.





Figura 75: Probeta inserto adhesivado

Como otro de los aspectos a valorar era como afectaría la temperatura de la soldadura al adhesivo, una de las probetas se realizó refrigerando el tubo (mediante un trozo de tela mojada) durante la soldadura y la otra, esta refrigeración solo se aplicó a uno de los extremos, el otro además se calentó para que la diferencia de temperatura fuese aún más acusada. El cordón de soldadura se sobredimensionó para garantizar que siempre rompería antes por la unión fibra-acero que por la soldadura.

### Ensayo y conclusiones



Figura 76: Ensayo



En el laboratorio del Departamento de Resistencia de Materiales de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y Aeronáutica de Terrassa, se realizó el ensayo a tracción.

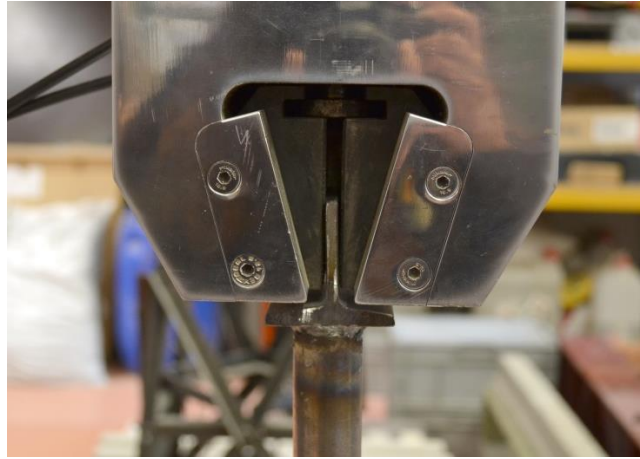


Figura 77: Pinza de ensayo

Situando la probeta en posición vertical y sujetándola por los extremos con las pinzas, se configuró para que la máquina ofreciese un desplazamiento de mm/minuto, hasta que la probeta rompiese por uno de los extremos.

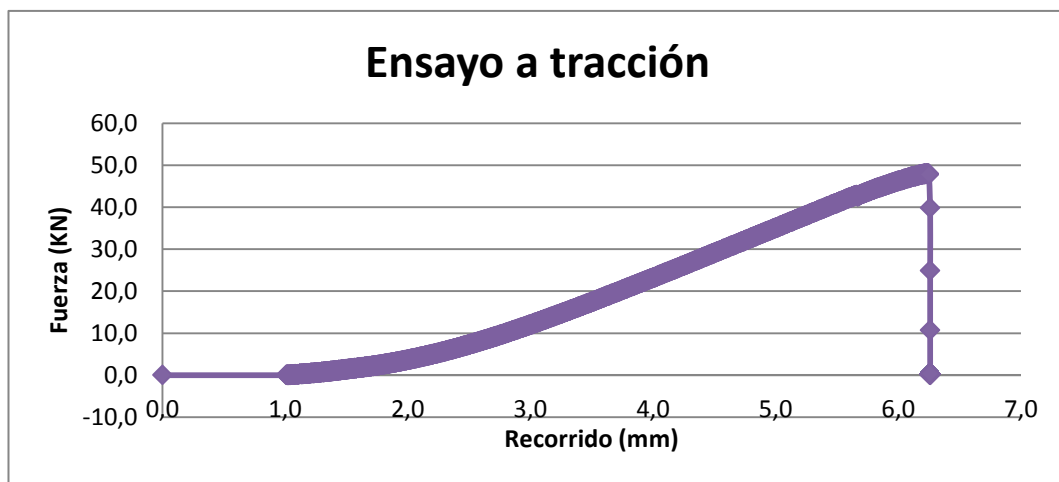


Figura 78: Gráfica primer ensayo

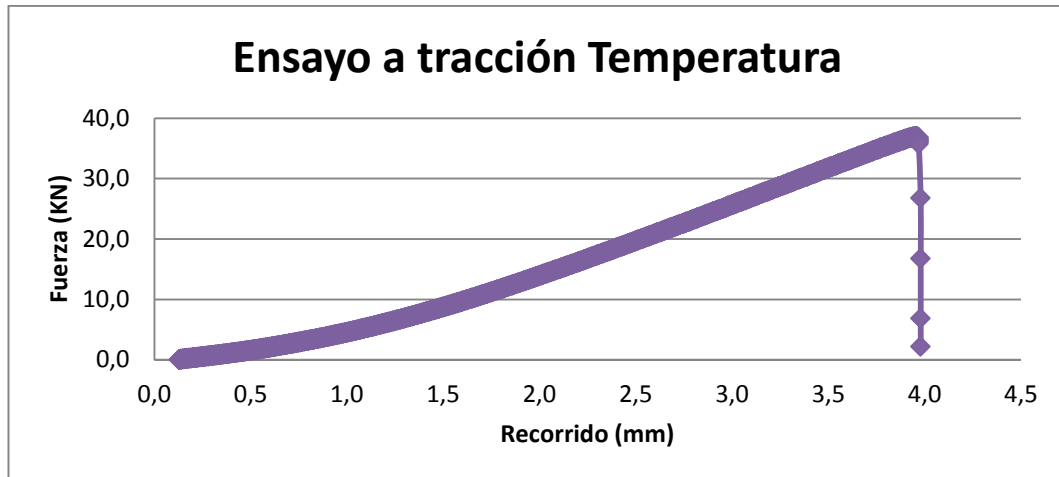


Figura 79: Ensayo soldadura sobrecalentada

Observando las gráficas obtenidas los resultados fueron satisfactorios. En el primero de los casos, en el que ambas soldaduras fueron refrigeradas, se obtiene un valor máximo de 47kN muy superior a cualquiera de las solicitaciones que, en un uso normal, el prototipo debe soportar.

Por otra parte, aunque en el prototipo se refrigerará durante la soldadura, observamos como el punto de rotura en el segundo caso es superior a 35kN, también por encima de lo esperado. Por último, destacar que la rotura se produjo por delaminación de los tubos no por el adhesivo, es decir, debido a que los tubos que se usarán en el prototipo definitivo son diferentes (más resistentes; 75% de las fibras a 0° y el 25% a  $\pm 45^\circ$ ) se puede asegurar que la unión resistirá más.

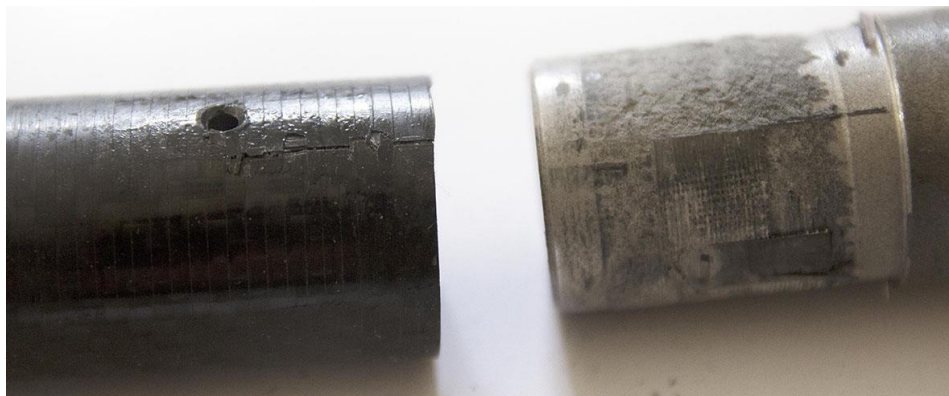


Figura 80: Rotura ensayo

## 8.2 Laminado

Debido al gran número de tubo que se tenían que unir en la pipa de dirección el método anterior dificultaba en exceso su fabricación, y la solución adoptada fue laminar sin necesidad de insertos.

Como su propio nombre indica, este tipo de uniones se realizan sobrelaminando encima de los elementos que deseamos juntar, teniendo en cuenta cual será la dirección de los esfuerzos poniendo de forma conveniente la dirección de la fibra.

Este método de fabricación presenta grandes ventajas. La primera de ellas es que se utiliza el mismo material, presentando así comportamientos parecidos, sin añadir peso extra y, aunque a priori no parezca importante, presenta un mejor aspecto estético. Por otro lado, no son necesarias máquinas de mecanizado ni soldadura, por lo tanto, requiere de menos etapas en su fabricación y menor maquinaria. Por último, este sistema permite corregir pequeñas desviaciones durante la fabricación, aceptando así tolerancias mayores, disminuyendo el precio.

La mejor manera de explicar el proceso que se lleva a cabo, es describiendo los pasos seguidos para la realización de los ensayos.

### 8.2.1 Ensayo a rotura

El objetivo principal de estos ensayos era observar el modo y tiempo de fabricación de las probetas y el comportamiento de las uniones con respecto a los tubos estándares.

Para la realización de dichos ensayos se utilizaron tubos de fibra de carbono de 28 mm de diámetro y uno de espesor, con las fibra situadas a 0-90° a partes iguales, adhesivo Axson Adekit 135, microesferas de vidrio, pilplay, adhesivo en láminas y retales de fibra de carbono con las fibras a  $\pm 45^\circ$ , sangrador y tela porosa.

### Montaje

El primer paso fue mecanizar un tubo de aluminio de 70mm de diámetro y 2mm de espesor y una longitud de 150mm. Igual que en el ensayo anterior, para conseguir una superficie porosa, se chorreo con arena a presión la superficie del aluminio y posteriormente se limpió con acetona para eliminar toda la suciedad.

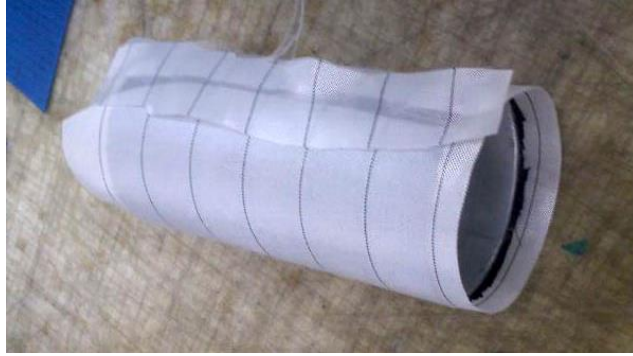


Figura 81: Pipa de aluminio laminada

Actos seguido, se recubrió la pieza con una lámina de adhesivo y dos capas de fibra de carbono a  $\pm 45^\circ$ . Una vez hecho esto se recubre la pieza con una capa de pil play, una tela que permite el drenaje de la resina y deja un acabo poroso que mejora la superficie para utilizar adhesivos.

Para eliminar el aire de la fibra de carbono se somete a la pieza al vacío. Se recubre toda la pieza con una manta que se pone entre la fibra y la tela de sangrado para que la segunda no se agujeree. Por último se monta la bolsa de vacío donde se incorpora una toma para conectar la bomba de vacío. Se deja curar en el horno a 100grados durante 24h.

Una vez curada la pieza, se quita la capa de pil play obteniendo la capa porosa. Se cortan los tubos en con la sección deseada para que encaje y, después de haber lijado la superficie del tubo, este se encola para fijar su posición definitiva.



Figura 82: Masilla microesferas

Cuando tubos ya están situados, con el adhesivo Adekit 135 y polvo de micro esferas de vidrio, se realiza una masilla que recubrirá la unión entre la pipa y el tubo. La función de la masilla es suavizar o redondear la unión, facilitando así el radio que deberá realizar la tela de fibra y ofreciendo un poco de flexibilidad en ese punto.

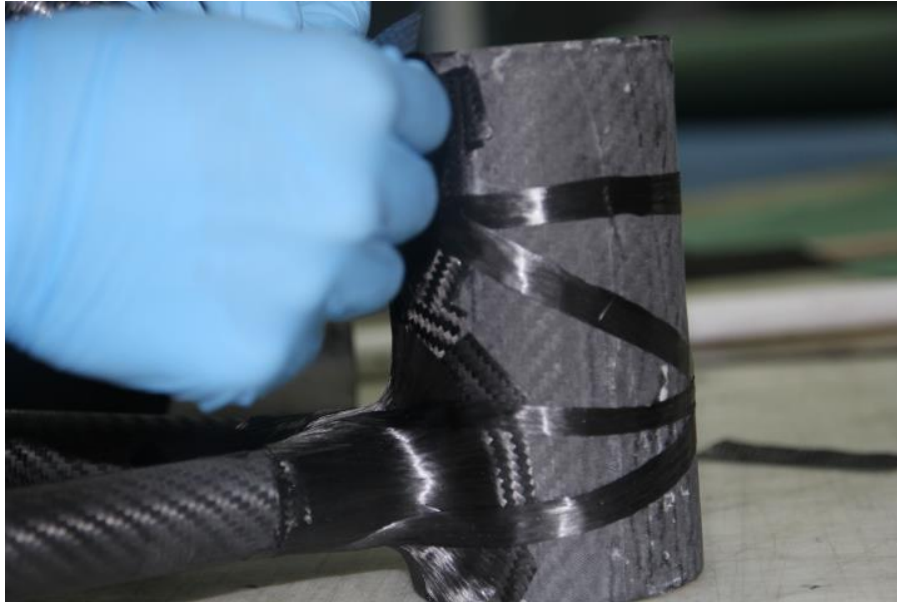


Figura 83: Laminación

Pasadas unas horas, con la masilla endurecida, hay que lijarla para minimizar y dejar solo el radio deseado. A partir de aquí se aplicarán 7 capas de fibra de carbono pre-preg de 200g y 0.2mm de espesor. Las capas se distribuirán en el orden siguiente: 4 capas a  $\pm 45^\circ$  intercalando entre ellas 3 capas de fibra unidireccional en la dirección de los esfuerzos, por último se reforzaron algunos puntos con tiras de fibra unidireccionales.



Figura 84: Proceso de vacío

Como con la pieza anterior, se preparará el sistema de vacío y se dejará curar la pieza durante 24h a 100°C. Se desestima en ambos casos el uso de autoclave



debido a que no nos aportaría una gran diferencia en cuanto a resistencia y puede generar grandes problemas tanto con la presión en los tubos prefabricados como con la temperatura debido a la diferencia en la dilatación de la fibra y el aluminio.

## Ensayo y conclusiones

El ensayo de la pieza final se dividió en dos fases.



Figura 85: Ensayo a rotura unión simple

En la primera de ellas se fijó en posición vertical la pieza de aluminio mediante dos placas de acero con una espira, y se aplicó una carga con un avance

continuo de xmm/minuto para valorar el comportamiento de la unión cuando la fuerza era paralela a la pipa de dirección.



Figura 86: Ensayo a rotura unión doble

En la segunda fase se quería valorar el comportamiento de la unión cuando la carga era perpendicular a la pipa de la dirección y, además, varias barras se unían en un punto.

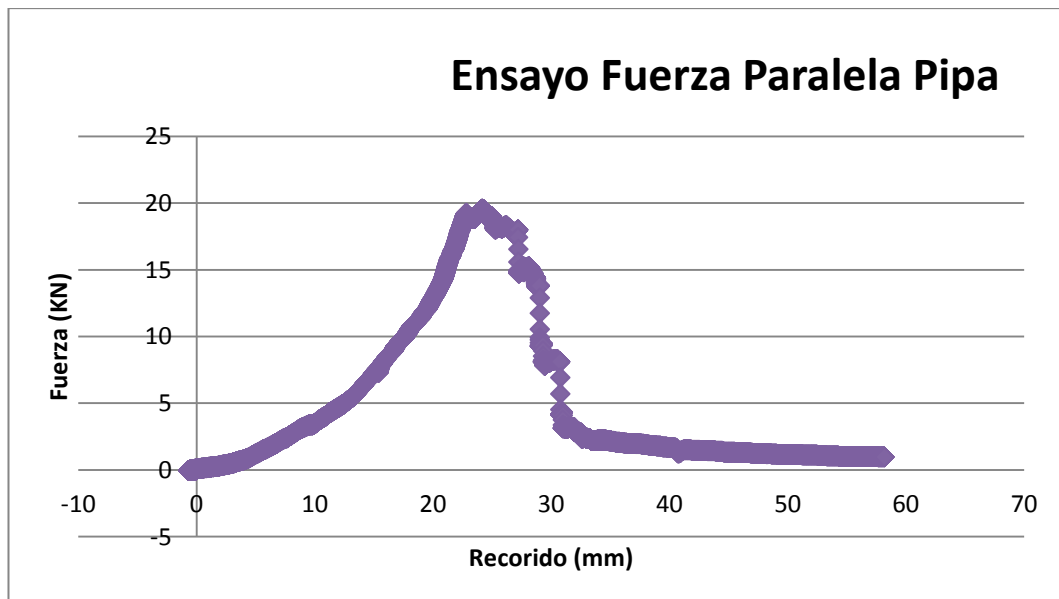


Figura 87: Gráfica Fuerza Paralela



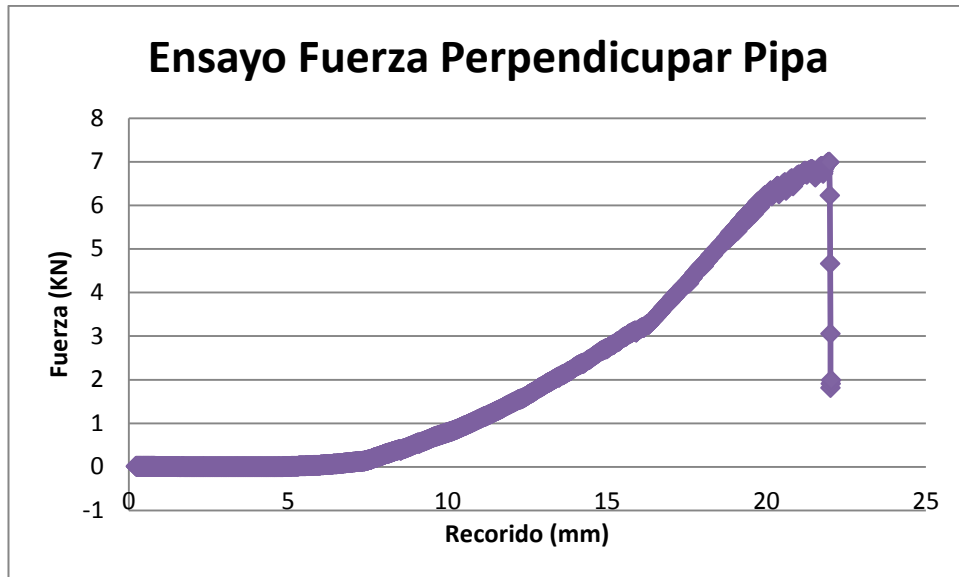


Figura 88: Gráfica Fuerza Perpendicular

En ambos casos las conclusiones y los datos obtenidos fueron muy positivos. En el primer ensayo, vimos como la unión era capaz de aguantar más de 20kN, siendo la unión con la pipa y no el laminado el que rompió ante la fuerza aplicada. También podemos observar gráficamente, las caídas producidas por las roturas de las fibras y como en último lugar se rompieron los refuerzos situados de forma estratégica.

En el segundo de los casos, a pesar de que la conclusión fue positiva, puesto que rompió antes la barra que la unión, es decir, la unión se mantuvo intacta durante el ensayo, nos hubiese gustado saber qué pasaría con una barra más resistente.

En último lugar, es bueno saber que la rotura no fue de golpe, ya que las uniones a pesar de disminuir drásticamente su resistencia, no se despegaron por completo.

## 9. Proceso Fabricación

El bastidor, en su totalidad, será fabricado y ensamblado por los miembros del equipo MotoSpirit, siendo asesorados por especialistas en el sector de los composites.

A lo largo de este apartado se explicará todo el proceso de fabricación. Previamente se explicará la fabricación del utillaje y posteriormente la del bastidor definitivo.

Este proceso se ha ideado con el objetivo de que no se tenga que externalizar la fabricación el bastidor, ampliando así el conocimiento de los integrantes del equipo. Una ventaja que aporta esta metodología es que si hay alguna pequeña desviación durante alguna de las fases, es fácilmente rectificable en la siguiente.

Por último, recordar que todo el proceso siempre va marcado por la limitación en los costes, ya sean los propios del equipo como los especificados en el reglamento de MotoStudent.

### 9.1 Utillaje

El utillaje es la base sobre la que posteriormente se producirá el bastidor definitivo, por este motivo es imprescindible su correcta fabricación.

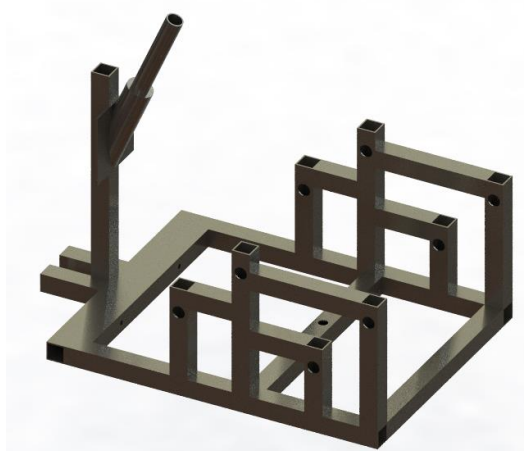


Figura 89: Utillaje

El utillaje está constituido por perfiles cuadrados de acero de 40 mm de lado y 3 mm de espesor, una placa también en acero de 5 mm de espesor y casquillos de acero de 26 mm de diámetro exterior y el interior adaptado específicamente a la métrica de cada unión.

Su diseño nos permite posicionar en el espacio cada uno de los puntos de unión con motor y subchasis así como la pipa de la dirección.

Como observamos en la figura 89 el utillaje posiciona los siguientes puntos:

- **Punto 1:** Unión inferior motor-bastidor..
- **Punto 2:** Punto superior del motor; unión de tres barras.
- **Punto 3:** Punto posterior del bastidor; unión con placas, subchasis y balancín.
- **Punto 4:** Pivotamiento; unión del motor con la placa y el basculante.

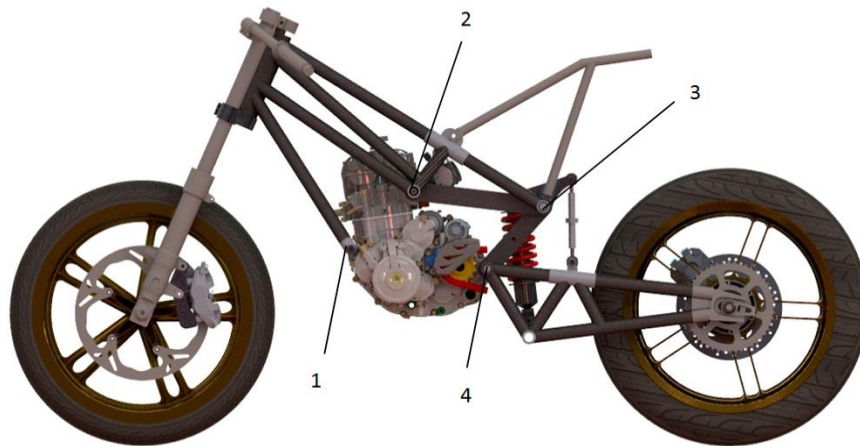


Figura 90: Uniones

El utillaje posiciona perfectamente los casquillos de aluminio que formarán parte del bastidor, así como el bloque de aluminio mecanizado que forma el interior de la pipa de dirección. Una vez soldado no permite ninguna modificación, por este motivo, la soldadura de todos los elementos que forman el utillaje se han realizado con el motor posicionado, minimizando el riesgo de cometer errores durante su ensamblaje.

### Proceso de fabricación

A pesar de su sencillez, era importante realizar correctamente los pasos para disminuir al mínimo las tolerancias.

Después de cortar las barras a su medida, estas fueron mecanizadas con una fresadora para que todas las barras semejantes fuesen equidistantes. Acto seguido, medidos y marcados con un pie de rey, se realizaron los agujeros necesarios. En los Planos, encontraremos las piezas del conjunto del utillaje.

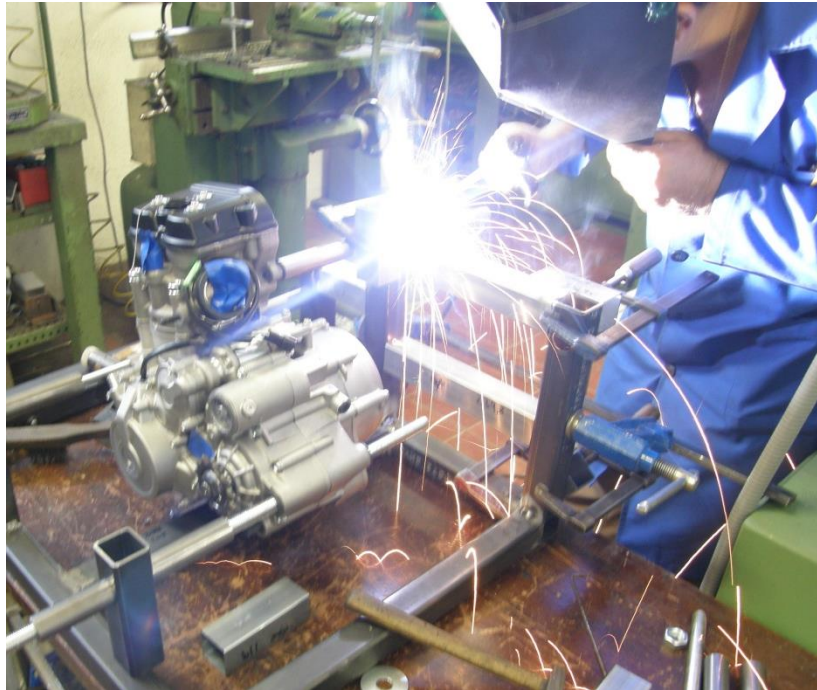


Figura 91: Soldadura utillaje

Una vez se tenían todas las barras cortadas y mecanizadas, se realizó la soldadura del conjunto. Se empezó por la base y se continuó con las barras verticales que posicionan el motor (con este ya colocado). Por último, se soldó la pletina al tubo que a la poste serviría de alojamiento para la pipa de dirección.

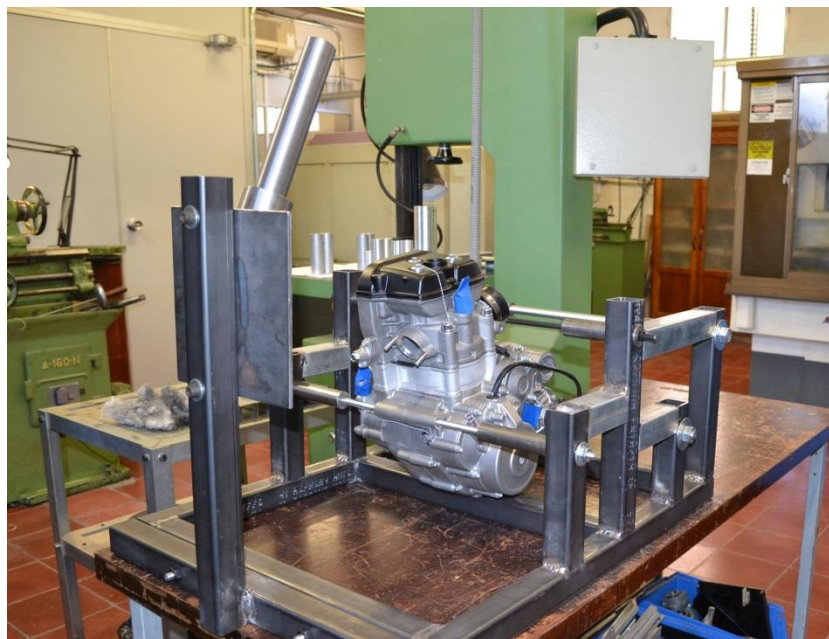


Figura 92: Utillaje acabado

## 9.2 Bastidor

Para la fabricación del bastidor definitivo se utilizará el siguiente material:

- 10 Tubos de fibra de carbono
- 6 Casquillos
- 2 Insertos en aluminio
- Pipa de dirección en aluminio

Una vez ensamblados constituirán una pieza única e indivisible, cualquier error durante su fabricación supondrá desechar la pieza actual y empezar de nuevo.

Durante el desarrollo de este apartado se utilizará la nomenclatura indicada en las siguientes figuras:

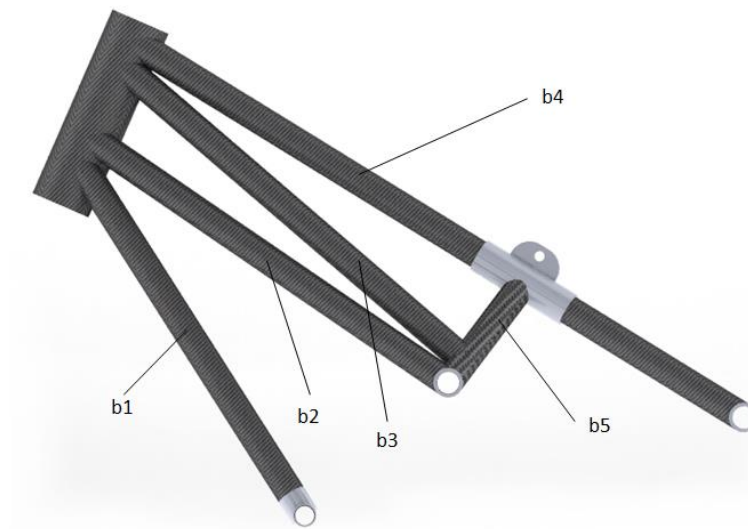


Figura 93: Numeración barras.

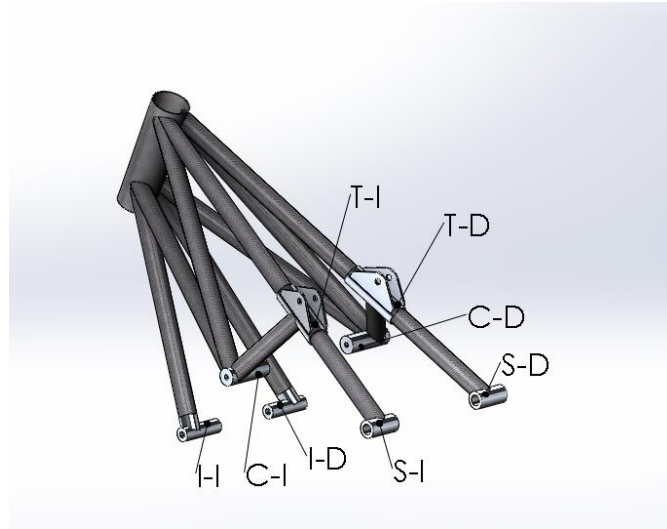


Figura 94; numeración insertos.

### Preparación previa

Por un lado se mecanizarán los casquillos en aluminio 6063, tanto los insertos como los sobrelaminados, según los planos. También se mecanizará la pipa de la dirección en aluminio 7075, se encontrarán los planos en el mismo anexo.

Por otro lado, se cortarán los tubos de fibra de carbono a la longitud establecida y con el desarrollo indicado para cada en barra.

El último paso previo será comprobar la tolerancia entre la barra 1 y el casquillo.

### Laminado piezas

Las siguientes piezas: pipa de aluminio y casquillos (C,S,T y S) se les aplicará una capa de fibra de carbono pre-preg con acabado de pil-play, que cubra por completo toda la superficie. La función de esta capa es aumentar la adherencia de las capas que se aplicarán posteriormente en los laminados.

### Secuencia ensamblaje

A partir de las simulaciones se ha decidido una secuencia única de ensamblaje, empezando con las barras que más esfuerzo reciben y finalizando por las que menos cargas soportan. De este modo conseguimos que las uniones que más esfuerzos han de resistir, sean las que más capas de fibra tengan. En el caso de la fibra, siempre, contra más material haya más aguantará esa unión.

Siempre que se hable de laminación se utilizará el método explicado en el apartado 8.2.

El primer paso es posicionar con cola fijadora los tubos b1 y b4 a la pipa de dirección. Estos son los primeros tubos que se laminan, pero antes se debe



realizar la unión soldada entre el inserto de la b1 y el casquillo inferior. Esta unión se realiza fuera del utillaje para que la dilatación no afecte al tubo de fibra de carbono.

Barras 1 y 4:

- Posicionar con cola fijadora las barras 1 y 4.
- Colocar el inserto de la barra 1 en la posición correcta con el casquillo inferior.
- Soldar el inserto al casquillo fuera del utillaje.
- Encolar el inserto a la barra 1 y laminar las barras 1 y 4 a la pipa de dirección.

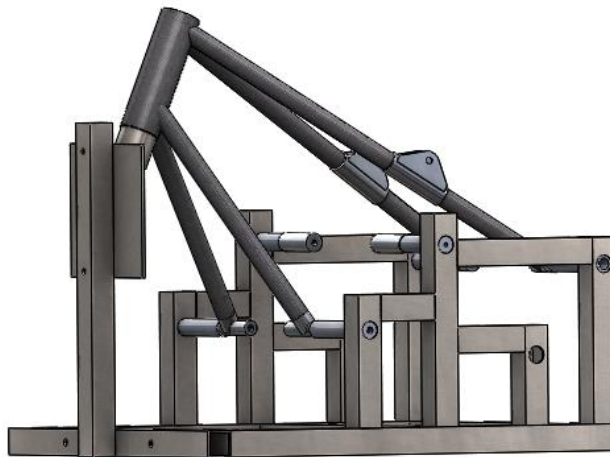


Figura 95: Posicionamiento barras 1 y 4

Barras 2 y 3:

- Posiciona con cola fijadora las barras 2 y 3 a la pipa de dirección.
- Encolar la abrazadera T a la barra 4.
- Laminar las barras 2 y 3 a la pipa de dirección.
- Laminar la barra 5 a la abrazadera T.

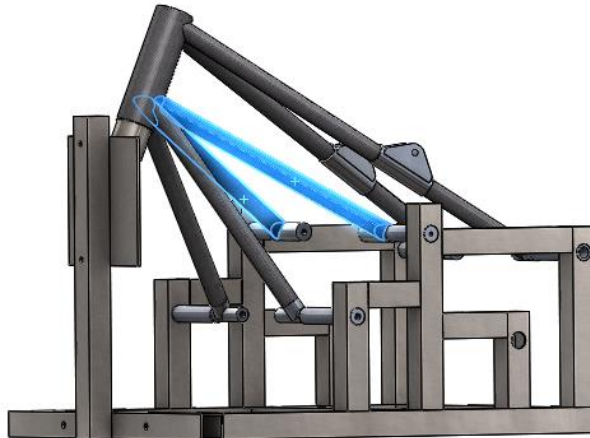


Figura 96: Posicionamiento barras 2

Casquillo C.

Colocar el casquillo C y laminar las barras 2, 3 y 5 al casquillo.



Figura 97: Posicionamiento barras 3 y 5

Cada uno de los procesos se realizará en días separados. Una vez laminada cada fase, se deberá dejar curar durante 24h aplicando vacío y, un pasturado de 10h a 100° de temperatura.

Sí que se curará el bastidor como pieza única, pero en ningún caso se introducirá en autoclave. Se considera que no es necesario debido al buen comportamiento obtenido en los ensayos. Por otra parte, aplicar presiones tan

altas con una temperatura elevada podría generar incongruencias entre la fibra y el aluminio, especialmente en lo que respecta a dilataciones.

## 10. Normativa

Durante la realización del proyecto el departamento de bastidor no se ha visto obligado a cumplir ninguna legislación de carácter nacional o europeo.

La única normativa que ha tenido que seguir es la presentada por la organización del evento. Todos los aspectos técnicos que incumbían en el desarrollo del prototipo se pueden consultar en el Anexo I.

## 11. Impacto medioambiental

### 11.1 Fase de diseño

En la fase de diseño, el impacto medioambiental no fue un aspecto limitante a tener en cuenta.

El objetivo de MotoStudent es que los participantes desarrollen y fabriquen un prototipo de competición. Es decir por un lado evalúan la evolución del diseño y el proyecto industrial y por el otro su comportamiento dinámico, disputando incluso una carrera, pero la organización no evalúa el impacto ecológico que éste pueda tener durante su desarrollo. Tampoco premia de forma extraordinaria a los equipos por realizar dicho estudio.

Por otra parte todo el proyecto está enfocado a la fabricación de un único prototipo. En el caso de que se tuviera que industrializar el proceso, habría que realizar un estudio previo de cada una de las piezas a fabricar para evaluar posibles cambios en el diseño para favorecer este aspecto; p.ej. consumos de energía o aprovechamiento del material. También habría que alargar su vida útil y estudiar las posibles alternativas para el reciclajes de cada material utilizado, especialmente la fibra de carbono.

### 11.2 Evaluación ambiental para piezas de fibra de carbono

El equipo MotoSpirit ETSEIAT ha generado el presente estudio dirigido a los departamentos encargados del diseño y fabricación del chasis, los cuales tienen la fibra de carbono como material principal en sus diseños.

Debido a que la fibra de carbono es un material compuesto no metálico de tipo polímero, se proporciona la siguiente información para que se tenga presente durante la fase de fabricación, en la que los propios estudiantes son los que manipularán y estarán en contacto directo con el material.

La información recopilada en este documento debe servir para que los miembros del equipo conozcan la clasificación básica de los tipos de fibra de carbono existentes y conozcan los tratamientos disponibles para los residuos generados de este material.

#### **Clasificación composites**

Los composites tienen la particularidad de presentarse en una muy amplia y variada composición, fruto de su gran campo de aplicación: naval, aeronáutico, deportivo, químico, transporte, etc.

Una característica peculiar de la fabricación de los materiales compuestos de matriz termoestable (que las diferencia de los materiales obtenidos con matriz termoplástico) es la elevada cantidad de desechos desperdicios (recortes) que se generan. Esto se debe principalmente a los procesos de fabricación utilizados, manual en su mayoría.

Existe un gran número de problemas que dificultan el reciclado de los materiales compuestos de matriz termoestable, pudiendo establecerse, en primera aproximación que:

- Los materiales compuestos de matriz termoestable no pueden ser reprocesados mediante procesos de refundición.
- Los desechos suelen estar contaminados y a menudo contienen insertos metálicos o rigidizadores.
- El alto contenido y tipos de refuerzos, minerales inorgánicos como, por ejemplo, la fibra de vidrio, con propiedades muy distintas a la matriz, dificultan en gran manera los procesos de reciclado.

Por su parte, los materiales a base de resinas epoxi, utilizadas en la industria aeroespacial se refuerzan con fibra de carbono, utilizando para su conformado preimpregnados de la fibra con resinas epoxi. Los preimpregnados, disponibles en láminas, se cortan de acuerdo con las dimensiones del diseño final. Este proceso genera una cantidad importante de desperdicio, el cual, normalmente, no es utilizado.

### **Composites de carbono**

Los composites de carbono pueden tener orígenes muy diversos. Por lo que los desperdicios generados por el procesamiento de materiales compuestos con fibra de carbono consisten en:

- Fibras
- Tejidos
- Preimpregnados
- Laminados curados.

El porcentaje mayor lo constituyen los preimpregnados, que pueden ser reciclados mediante dos operaciones básicas: extracción de la resina y cortado de las fibras.

Como una clasificación inicial:

- Preimpregnado o prepreg en estado B perfectamente utilizable. Suelen ser restos de bobina.



- Prepreg en estado B pero fuera de fecha. También restos de bobina.
- Prepreg polimerizado, normalmente en forma de bobina.
- Composites de carbono en forma de piezas y moldes fuera de uso.
- Tejidos de carbono y bobinas de hilo sin mezclar con resina. Son restos de producción.
- Polvo de composite de carbono obtenido de recantados de piezas y cortes con herramientas.

Esta clasificación básica da una idea de la amplitud del tema y por tanto, según sea la presentación de esta fibra de carbono, así habrá de ser el tratamiento a seguir para que obtengamos el máximo aprovechamiento y rentabilidad industrial. Hacemos la aclaración que en la gran mayoría de los casos, los composites y prepregs están impregnados en resina epoxy.

### **11.3 Fase de construcción**

#### **11.3.1 Minimizado de residuos**

Son varios los motivos por los que, a pesar de no ser un requisito indispensable de la organización del evento, el equipo MotoSpirit pretende minimizar los residuos producidos durante la fabricación.

Por un lado, actualmente hay una creciente concienciación con la importancia del medioambiente ya desde las aulas, por este motivo creemos que minimizar los residuos le da valor añadido al proyecto. Por otro lado, el equipo ha de asumir todos los costes de fabricación, por lo que aumentar el aprovechamiento del material también nos resulta beneficioso.

#### **11.3.2 Tratamiento de los residuos**

Todo el proceso de fabricación se ha realizado en entidades y empresas especializadas en el uso de los materiales manipulados, por lo tanto la gestión de los residuos ha sido la adecuada para cada tipo de material.

Principalmente se han utilizado tres tipos de material: aluminios en la pipa de la dirección y los caquillos, acero en el utillaje y fibra de carbono en el bastidor.

### **Metales**

La totalidad de las piezas metálicas han sido realizadas y manipuladas dentro del recinto de la universidad (ETSEIAT), específicamente en el taller de INTEXTER. Como se comentaba en el punto anterior, se realizó un estudio previo a la compra de material para optimizar costes y aprovechamiento. Las piezas metálicas han sido trabajadas manualmente, generando un residuo mínimo. Por último, todos los retales y viruta generada sea gestionado junto al

resto de residuos generados por el taller. En este caso se externaliza el servicio contratando una empresa especializada en el tratamiento de estos residuos.

### **Fibra de carbono**

Las piezas de fibra de carbono de las que está compuesto el bastidor son tubos prefabricados y láminas prepreg.

Los tubos utilizados en el bastidor son productos estandarizados que comercializa la empresa ClipCarbono. A pesar de necesitar 4 metros de tubo de 28mm de diámetro, considerando los residuos, no es un material que fabrique MotoSpirit por lo tanto no se analiza su impacto medioambiental.

Para la realización de las uniones realizadas mediante sobrelaminado, se estableció colaboración directa con Nexus Projectes, empresa con 12 años de experiencia en el sector que pone a disposición del equipo sus instalaciones y conocimiento.

Debido a que la fibra de carbono es un producto químico, anualmente Nexus Projectes subcontrata a una empresa para que evalúe los riesgos de cada puesto dentro del recinto. Como es obvio desde la empresa nos obligan a seguir unas pautas de acondicionamiento y seguridad en la manipulación de los materiales y/o herramientas.

Cabe destacar que parte de la colaboración establecida es la provisión de fibra de carbono prepreg. Debido a que los retales que MotoSpirit necesita son pequeños, se aprovechan parte de los desechos generados por la empresa en otros proyectos. El resto del reciclaje lo externaliza a empresas especializadas.

### **11.4 Fase de explotación**

En el contexto que alcanza este proyecto, el bastidor no generará residuos durante su vida útil.

### **11.5 Fase de desmantelamiento**

Si hubiere desmantelamiento, este sería bastante costoso debido a la dificultad de separar los materiales metálicos de los composites. Sí que sería relativamente de reciclar el acero utilizado en el utillaje.

A pesar de ello no se considera que haya desmantelamiento, debido a que el bastidor fabricado será propiedad de la asociación MotoSpirit con el objetivo de su uso en la docencia, ya sea para mejorarlo o estudiarlo.

## 12. Pliego de condiciones

### 12.1 Medidas Generales

Las cotas generales del conjunto estándar son:

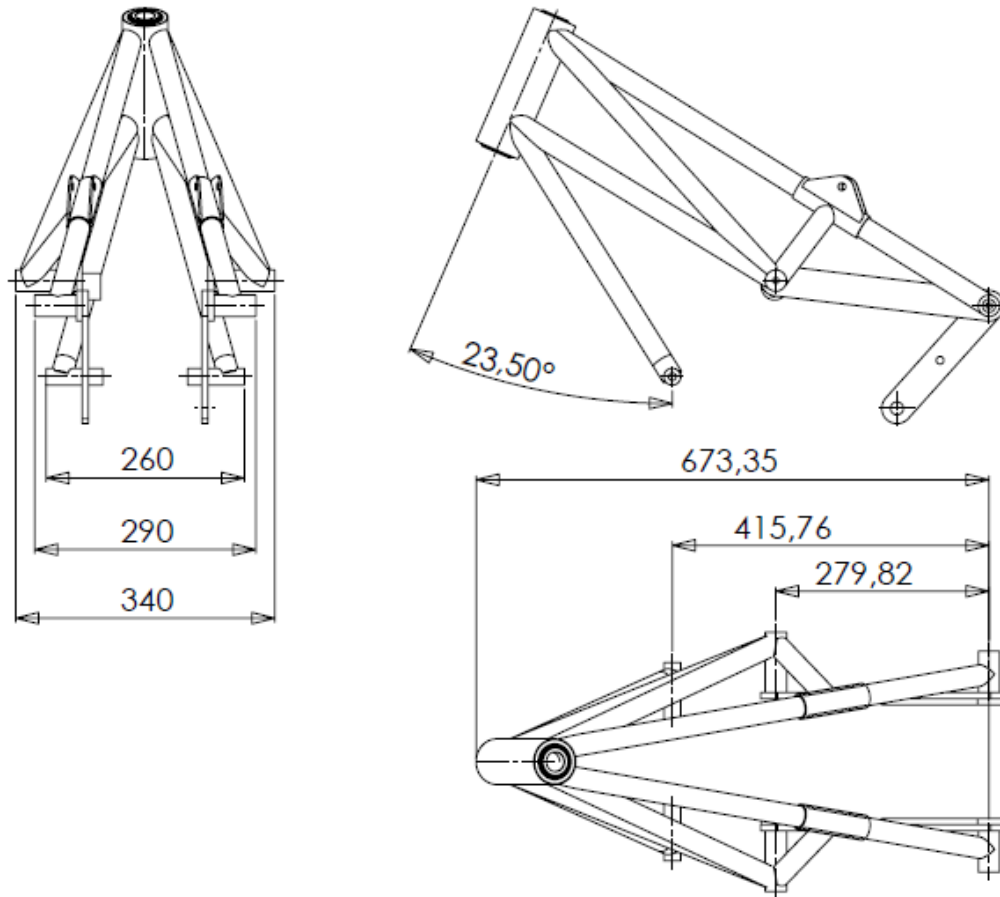


Figura 98: cotas generales

Queda terminantemente prohibida la modificación de cualquiera de los elementos del bastidor sin una autorización explícita del departamento de bastidor.

### 12.2 Vida útil

El prototipo está diseñado para su uso durante el desarrollo de la III Edición de MotoStudent.

Es decir, para las pruebas que se realizarán durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre para la puesta a punto general del prototipo, así como la propia competición MotoStudent. Incluyendo las pruebas dinámicas de aceleración, frenada y Gymkhana junto a la carrera y sus entrenamientos.

Más de este evento, el equipo MotoSpirit y en de forma específica el departamento de bastidor no asegura o comprometa a funcionamiento en plenas condiciones y capacidades del prototipo.

### **12.3 Presupuesto**

El presupuesto del presente proyecto tiene en cuenta todos los costes que se listan a continuación:

Costes de materiales, costes de procesos de fabricación, costes de mano de obra de montaje, costes de soldadura, costes de elementos comprados y costes de ensayos.

Quedan excluidos los costes de ingeniería.

El presupuesto puede variar ligeramente en función del proveedor y/o mercado.

Tiene validez has final del presente año, es decir 31/12/2014.

### **12.4 Especificación de elementos**

#### **12.4.1 Elementos fabricados**

Todos los elementos fabricados por los diferentes contratistas deberán reunir todas aquellas propiedades indicadas en los anexos adjuntos al proyecto y en las especificaciones en los planos en cuanto a materiales, tolerancias, acabados superficiales...

#### **12.4.2 Componentes comprados**

Todos los elementos que se hayan adquirido mediante compra a distribuidor o donaciones de terceros deberán reunir las características de catálogo sin que se pueda reducir las propiedades de estos.

### **12.5 Transporte**

Cualquier elemento que pueda trasportarse, ya sea el bastidor acabado o piezas en proceso de fabricación, deberá ser trasladado de forma individual y protegidos con los medios necesarios.

En caso de que durante el transporte algún elemento sufra algún daño, este deberá ser reemplazado de forma inmediata por uno de características idénticas.

### **12.6 Materiales**

Para la fabricación del bastidor se utilizará como material principal la fibra de carbono.

- Tubos de 28mm de diámetro interior, 2mm de espesor y una disposición de las fibras de un 75% a 0° y el 25% restante a  $\pm 45^\circ$ .
- El laminado se realizará con fibra de carbono pre-preg de 200gr.

Estos deberán cumplir como mínimo con las condiciones mecánicas de catálogo sin que estas se puedan ver afectadas durante la vida útil del prototipo.

La pipa de la dirección se empleará un aluminio de tipo 7075 T6 y en el caso de los casquillos e insertos un aluminio 6082.

En caso de que la empresa distribuidora o comercial del material no cumpla con las especificaciones de catálogo, deberá reemplazar el material por una partida que cumpla con los requisitos.

### 12.7 Condiciones de montaje

Se deberán cumplir las tolerancias especificadas en los planos de fabricación.

Es imprescindible que el operario que se encargue de fabricar el conjunto del bastidor sea conocedor de las necesidades que tiene la fibra de carbono como composite, respetando los tiempos de curado necesarios para garantizar el acabado estructural.

En caso de que algún elemento sufra daño alguno durante la etapa de montaje, éste deberá ser substituido por uno de idénticas características sin contemplar la reparación inmediata como una opción.

### 12.8 Advertencias de seguridad

El bastidor diseñado está pensado para su uso en competición, es decir en circuito cerrado de asfalto. El bastidor no está diseñado para otros, aunque estos sean del sector del motociclista (motocross, enduro...). Tampoco está preparado para que se realicen modificaciones del resto de elementos del prototipo, como podría ser un motor de mayor potencia.

En ningún caso consta de homologación para poder circular de forma segura por la vía pública sin expreso permiso de la autoridad competente.

### 13. Presupuesto

La evaluación económica del bastidor se dividirá en tres partes:

- Costes de horas de trabajo
- Costes del material de fabricación del utillaje.
- Costes de material de fabricación del bastidor.

Se ha estimado la hora de taller a 35€/h puesto que eran mecanizados y soldaduras de tiradas pequeñas, cosa que se tenía que realizar artesanalmente en una pequeña empresa.

La hora en el trabajo de la fibra de carbono es menor ya que lo realiza una empresa especializada. La manipulación de la fibra es muy artesanal por lo tanto no suelen haber procesos industriales y también sacan beneficio de las horas de curado.

Gracias a las colaboraciones MotoSpirit solo ha tenido que asumir un 24% del coste total, haciendo posible su fabricación real.

<b>Coste total</b>	2.640,31 €
<b>Coste asumido por MotoSpirit</b>	637,75 €

#### 13.1 Costes horas de trabajo

Tabla 7: costes horas de trabajo

Concepto	Elemento	Precio/hora	Cantidad	Coste
<b>Corte tubos acero</b>	Utillaje	35,00 €	2,5	87,50 €
<b>Corte tubos aluminio</b>	Bastidor	20,00 €	4	80,00 €
<b>Corte tubos fibra de carbono</b>	Bastidor	20,00 €	8	160,00 €
<b>Mecanizado tubos acero</b>	Utillaje	35,00 €	2	70,00 €
<b>Mecanizado tubos aluminio</b>	Bastidor	35,00 €	16	560,00 €
<b>Arenado</b>	Bastidor	20,00 €	2,5	50,00 €
<b>Encolado</b>	Bastidor	20,00 €	1	20,00 €
<b>Laminado</b>	Bastidor	20,00 €	12	240,00 €
<b>Curado vacío</b>	Bastidor	1,00 €	30	30,00 €
<b>Curado horno</b>	Bastidor	3,00 €	5	15,00 €
<b>Soldadura aluminio</b>	Bastidor	40,00 €	0,5	20,00 €
<b>Soldadura acero</b>	Utillaje	35,00 €	3	105,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>1.437,50 €</b>



## 13.2 Costes Utillaje

Tabla 8: Costes Utillaje

Concepto	Material	Código pieza	Precio unitario	Unidades	Precio total	Coste asumido por MotoSpirit
<b>Tubos cuadrados; Medidas 40x40x3x3000</b>	Acero	BT-P-013	26,80 €	1	26,80 €	26,80 €
<b>Tubos cuadrados; Medidas 40x40x1,5x3000</b>	Acero galvanizado	BT-P-013	22,06 €	1	22,06 €	22,06 €
<b>Placa: 5x200x200</b>	Acero	BT-P-013	8,56 €	1	8,56 €	8,56 €
<b>Tubo: 56x400</b>	Acero	BT-P-013	3,60€/kg	7,73	27,828	27,828
<b>Varilla roscada 8x1000</b>	Acero	-	1,50 €	1	1,50 €	1,50 €
<b>Varilla roscada 10x1000</b>	Acero	-	2,00 €	1	2,00 €	2,00 €
<b>Varilla roscada 16x1000</b>	Acero	-	2,50 €	1	2,50 €	2,50 €
<b>Tuercas y arandelas</b>	-	-	-	-	5,00 €	5,00 €
<b>Tubo 30*3000</b>	Acero	-	8€/m	3	24,00 €	24,00 €
<b>TOTAL</b>					<b>120,25 €</b>	<b>120,25 €</b>

### 13.3 Costes Bastidor

Tabla 9: Costes Bastidor

Concepto	Material	Código pieza	Precio unitario	Unidades	Precio total	Coste asumido por MotoSpirit
<b>Tubo; Medidas: 24x28x1000</b>	Fibra de carbono	BT-P-003	57,65 €	7	403,55 €	285,74 €
<b>Tubo; Medidas: 26x28x1000</b>	Fibra de carbono	-	38,07 €	3	114,21 €	76,97 €
<b>Pipa; Medidas: 60x200</b>	Aluminio 7075 T6	BT-P-019	16€/Kg	1,58	25,30 €	25,30 €
<b>Casquillos: 25x3000</b>	6068 T6	BT-P-003; I	32,00 €	1	32,00 €	32,00 €
<b>Casquillos: 35x3000</b>	6068 T6	BT-P-003; INS, T, C, S	67,50 €	1	67,50 €	67,50 €
<b>Tubo; Medidas: 26x28x1000</b>	Acero	-	30,00 €	1	30,00 €	30,00 €
<b>Rodamiento: 25x47mm</b>	-	BT-P-050	37,00 €	2	74,00 €	0,00 €
<b>Rodamiento: 28x52mm</b>	-	BT-P-051	45,00 €	2	90,00 €	0,00 €
<b>Tela Pre-Preg</b>	Fibra de carbono	-	25€/m2	2	50,00 €	0,00 €
<b>Adhesivo Adekit 135</b>	-	-	20€/kg	0,8	16,00 €	0,00 €
<b>Adhesivo Adekit 140</b>	-	-	25€/kg	1,6	40,00 €	0,00 €
<b>Bolsa vacío</b>	-	-	3€/m	10	30,00 €	0,00 €
<b>Tela sangrado</b>	-	-	2,5€/m	20	50,00 €	0,00 €
<b>Espuma protectora</b>	-	-	2€/m	20	40,00 €	0,00 €
<b>Cinta selladora</b>	-	-	0,4€/m	50	20,00 €	0,00 €
<b>TOTAL</b>					<b>1.082,56 €</b>	<b>517,51 €</b>

## 14. Conclusiones

Las conclusiones obtenidas en la realización de este proyecto son muy dispares.

Por un lado, realizando una evaluación objetiva de la evolución, considero muy satisfactorio todo el trabajo realizado. A pesar de haber cometido muchos errores causados por la apuesta de riesgo e innovación que supone hacer un bastidor tubular en fibra de carbono, tanto las simulaciones como los ensayos siempre han cumplido, incluso superado nuestras expectativas.

Al final se ha obtenido un chasis muy rígido, factor que es muy interesante en el comportamiento de una motocicleta pero que cambia las sensaciones que recibirá el piloto, hecho que convierte en una incógnita si realmente cumpliremos nuestro objetivo, ser rápidos en el circuito de Motorland.

Es sumamente difícil poder sacar unas conclusiones fehacientes puesto que el comportamiento de las uniones laminadas, aunque sabemos que aguantarán, aún es desconocido. Por otro lado el hecho de haber hecho ensayos nos aporta un orden de magnitud sobre la caracterización del bastidor pero aun así me gustaría poder ensayar la pieza entera, el conjunto definitivo de barras.

Teniendo en cuenta la utilización materiales punteros, el equipo MotoSpirit a pesar de sus escasos recursos, conseguirá fabricar el bastidor y obtener una valoración sobre el trabajo tanto de investigación como de diseño realizado hasta el momento.

Desde un punto de vista más subjetivo, considero que el departamento de bastidor ha realizado un gran trabajo consiguiendo un bastidor muy ligero en comparación con los actuales y con una rigidez superior.

## 15. Líneas Futuras

Todo el trabajo realizado hasta el momento, es un porto de partido para que los futuros integrantes del equipo MotoSpirit puedan disponer de él.

Actualmente el equipo está trabajando en aspectos que quedan fuera del alcance de este proyecto como es la tornillería.

Con el objetivo de mejorar el comportamiento del bastidor se considera interesante enfocar el trabajo en dos vertientes.

Por un lado sería muy conveniente poder realizar un análisis de esfuerzos dinámico con un programa adecuado como podría ser ADAMS.

Sería muy útil realizar un estudio de las motos que actualmente disputan el campeonato del mundo, no solo en cuanto a geometrías sino también a rigideces. De esta manera se podría evaluar en qué punto exacto se encuentra el proyecto y así poder entender mejor las sensaciones que transmite el piloto.

## 16. Bibliografía

### 16.1 Escrita

- M. Arias-Paz (2003). *Motocicletas*. (32ª edición). CIE DOSSAT 2000
- Tony Foale (2003). *Motocicletas, comportamiento dinámico y diseño de chasis. El arte y la ciencia*.
- Vittore Cossalter (2006). *Motorcycle dynamics*. (2ª Edición)
- John Bradley. *The Racing Motorcycle*. (volume I y II)

### 16.2 Páginas web

<http://www.bottpower.com/>

<http://www.lamoto2.es/>

[www.solomoto.es](http://www.solomoto.es)

<http://www.motociclismo.es/>

<http://www.hondaproring.com/moto3/>

<http://mirracing.wordpress.com/>

<http://avintiaracing.com/moto-gp/>

<http://www.ktm.com/es/factoryracing/moto3.html>

### 16.3 Proyectos

- Ernesto Limousin y Cesar Díaz de Ceiro. *Diseño y cálculo estructural del chasis de una motocicleta de competición*. 2010, UPNA
- Ana Gómez Pérez. *Análisis a fatiga del chasis de la motocicleta MotoStudent debido a las fuerzas del motor*. 2011- Universidad Carlos III
- Alban C. Cobi. *Design of a Carbon Fiber Suspension System for FSAE Applications*. 2010 – Massachusetts Institute of Technology.
- Patxi Vergara. *Modelado, análisis y simulación de un chasis de motocicleta*. 2011 – Universidad Carlos III.